N°ordre 01 ISAL 0002 Année 2001

THESE

présentée devant

L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR

Formation doctorale : Génie Civil
Ecole Doctorale : MEGA

Par

Nadine ADRA

D.E.A. de Génie Civil
Ingénieur de la Faculté de Génie de l'Université Libanaise

Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais

Soutenue le 5 février 2001 devant la commission d'examen

Jury :		
	Patrick DEPECKER	Examinateur
	Gérard GUARRACINO	Directeur
	Gilbert MENGUY	Rapporteur
	Adel MOURTADA	Examinateur
	François NEIRAC	Examinateur
	Véronique RICHALET	Tutrice
	Matheos SANTAMOURIS	Rapporteur

Cette thèse a été préparée au Laboratoire des Sciences de l'Habitat de L'École Nationale des Travaux Publics de l'État, Département Génie Civil et Bâtiment (DGCB), URA CNRS 1652

RESUME

La maîtrise de l’énergie constitue un véritable enjeu pour les problèmes environnementaux, économiques et sociaux et le secteur résidentiel offre des possibilités importantes en vue de réduire la consommation énergétique.

Nous nous intéressons plus particulièrement au contexte libanais où l’énergie est presque totalement importée et où aucune réglementation thermique ou énergétique n’est appliquée pour les constructions. Des enquêtes sur le terrain et des questionnaires réalisés au cours de la thèse nous permettent de mettre en évidence les défauts de la construction au Liban et les besoins des occupants. Ces enquêtes nous amènent à considérer la certification énergétique comme un outil envisageable d’une politique énergétique au Liban. Après une étude des différentes méthodes de label, d’audit et de certification énergétiques existantes, nous proposons une procédure de certification pour l’habitat ‘EC-Pro’. L’originalité de cette procédure est de distinguer consommation standard et consommation réelle, en s’appuyant pour cette dernière sur les spécificités de fonctionnement et d’usage du bâtiment et de ses équipements de chauffage, d’eau chaude sanitaire et électroménagers. Elle est formée d’une phase d’analyse sur site et de mesures et d’une phase de calcul des consommations et du potentiel d’économie d’énergie. Nous montrons dans cette étude l’intérêt et les difficultés de la prise en compte du comportement des occupants pour le calcul de la consommation réelle et nous traitons le calcul des gains internes associés à ce comportement à travers la littérature et des simulations numériques.

Des tests sur des logements existants et une étude de sensibilité des résultats aux différents paramètres d’entrée moyennant les plans d’expériences confirment l’applicabilité de cette procédure et ouvrent de futures perspectives de développement. Enfin, une approche prospective permet de repérer les facteurs et les acteurs importants pour l’évolution de cette certification énergétique au Liban.

ABSTRACT

Energy conservation represents a main concern for environmental, economical and social problems and residential sector is of particular interest in order to reduce energy consumption. In this study, we focus on the Lebanese context where energy is almost totally imported and where no thermal or energetic regulation is applicable for the building construction. On-site surveys and questionnaires, realised during the thesis, highlight the construction problems and the needs of occupants in Lebanon. They also lead us to consider the energy certification as a possible solution for an energetic policy in this country. After a study of the different existing methods of labelling, rating and energy certification, we propose a procedure for energy certification in residential buildings, called as 'EC-Pro'. The originality of this procedure comes mainly from the distinction between standard consumption and actual consumption which depends on the specific uses of the building and its equipment as heating, domestic hot water, appliances and lighting. It includes a phase of visiting and monitoring and then a phase of calculation of the consumption and the energy conservation possibilities.

We also expose in this study the interests and the difficulties we faced to take into consideration the real behaviour of occupants in the calculation of the actual consumption then we analyse the calculation of casual gains related to this real behaviour through literature and numerical simulations.

Testing EC-Pro on existing buildings and analysing results sensibility to different input parameters by using factorial design, confirm the procedure applicability and demonstrate the potentials for future developments. Finally, a prospective study allows us to mark out the major factors and actors in the evolution of energy certification in Lebanon.

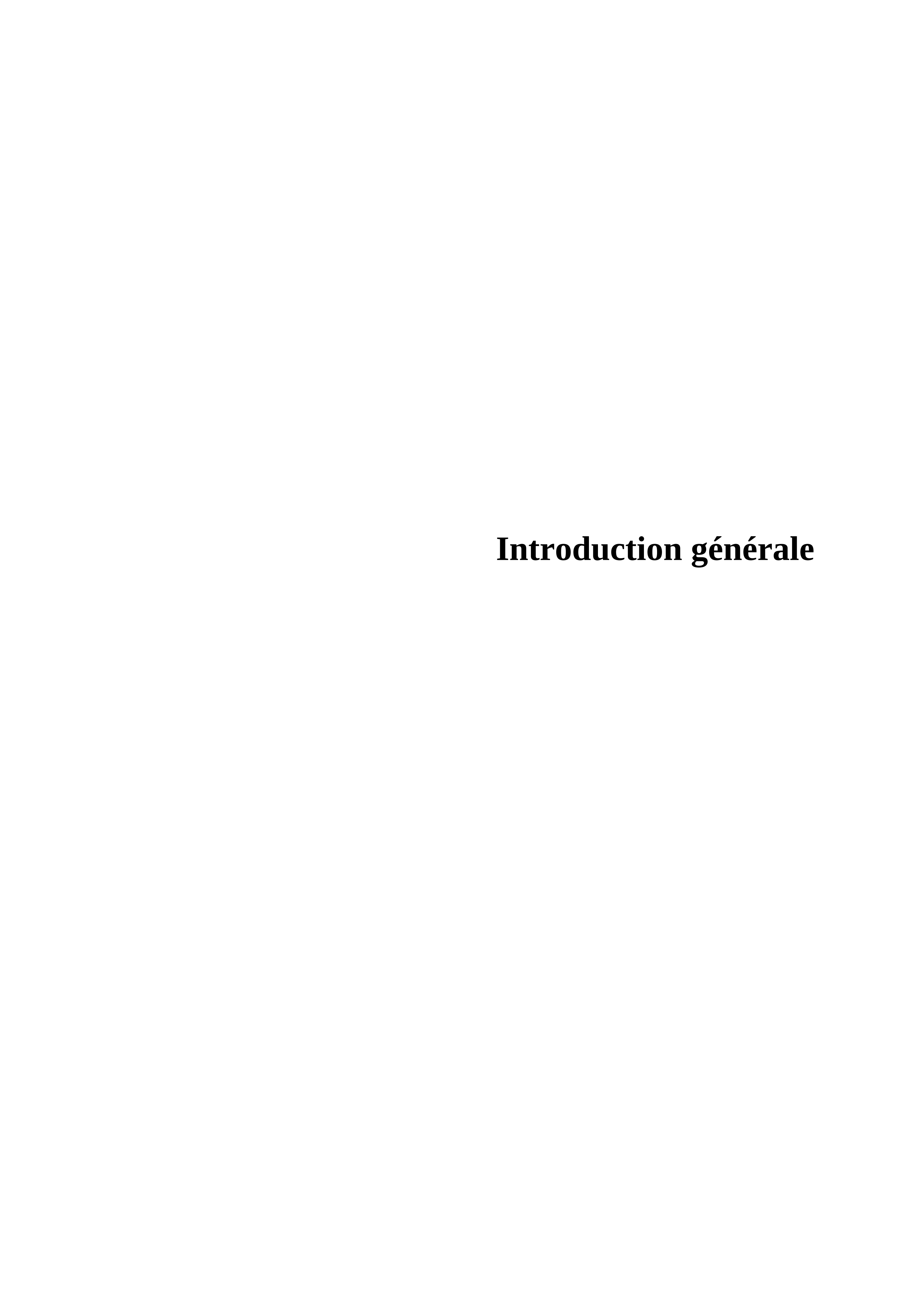
Principales notations utilisées

Q_L	déperditions (kWh)
Q_G	déperditions par le sol (kWh)
Q_h	besoins en chauffage (kWh)
Q_g	apports de chaleur gratuits (kWh)
Q_i	apports internes (kWh)
Q_s	apports solaires (kWh)
η	taux d'utilisation des apports gratuits
η_ι	taux d'utilisation des apports internes
η_s	taux d'utilisation des apports solaires
H	coefficient de déperditions (W/K)
H_V	coefficient de déperditions par renouvellement d'air(W/K)
H_T	coefficient de déperditions par transmission (W/K)
θ_e	température extérieure (°C)
θ_i	température intérieure (°C)
θ_{nc}	température de l'espace non chauffé (°C)
U	coefficient de déperdition spécifique par transmission par les parois (W/m²K)
t	temps, durée (s)
τ	constante de temps (s)
γ	rapport apports/déperditions
C	capacité thermique intérieure effective (J/K)
V	volume (m^3)
$\dot{V}$	débit d'air (m^3/h)

Abréviations

ECS	Eau chaude sanitaire
ECO	Economie d'énergie

TABLE DES MATIÈRES



Introduction générale

A l’échelle internationale, des efforts considérables ont été menés ces 20 dernières années pour sensibiliser le public aux problèmes des économies de l’énergie et de l’environnement. Les fluctuations du coût de l’énergie, liées à l’actualité internationale viennent sans cesse raviver cette prise de conscience. Non seulement l’énergie est l’un des facteurs déterminants communs liés aux problèmes sociaux, environnementaux et économiques, mais elle peut aussi contribuer à leur solution. La préoccupation énergétique est, comme dans d’autres domaines, présente dans le bâtiment.

Parler de l’utilisation rationnelle de l’énergie en général et de son application aux bâtiments dans un pays comme le Liban n’est pas une chose aisée. Le pays a connu une guerre qui a duré quinze ans et qui a causé de grands bouleversements. Il paraît difficile d’échapper à ce rappel dans une matière comme celle qui nous occupe ici, car ce que l’on appelle l’utilisation rationnelle de l’énergie ou la maîtrise de l’énergie - comme d’ailleurs la promotion des énergies renouvelables - est l’un des domaines où des efforts doivent être déployés pour la reconstruction du pays.

Parmi les secteurs où des études pourraient être faites en vue de réduire la demande énergétique, le résidentiel offre des possibilités importantes. A l’heure actuelle, ce secteur n’est soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique ou énergétique et le confort est généralement insuffisant dans les constructions aussi bien pendant la saison froide que chaude. Les usagers se trouvent devant le dilemme suivant : se résigner à l’inconfort ou assurer leur confort au prix d’équipements coûteux et de dépenses énergétiques importantes.
C’est ainsi qu’une mesure telle que la certification énergétique des bâtiments - qui est surtout une mesure permettant de s’informer sur la performance énergétique en terme de consommation et sur les possibilités d’amélioration - suppose un effort considérable mais donne au pays un moyen important pour avancer dans le domaine de la maîtrise de l’énergie dans les bâtiments.

Dans certains pays d’Europe et aux Etats-Unis, une procédure de certification énergétique des bâtiments est déjà obligatoire ou sur le point de le devenir. Si les outils déjà existants ont fait l’objet de développements importants tant sur le plan théorique que sur le plan de la rapidité d’exécution, il est surprenant de voir que les tentatives menées pour quantifier les performances énergétiques « réelles » des bâtiments apparaissent si peu nombreuses et si mal définies. La connaissance du comportement réel des occupants, de l’utilisation des systèmes

et des appareils, comprend toujours des inconnues. Le comportement observé est toujours différent de celui qui est simulé. D'autre part, certains facteurs, tels que les apports gratuits, sont encore difficiles à prendre en compte d'une façon précise, notamment les gains internes et leurs interactions avec le chauffage.

L'objectif de notre travail est double. Le but premier est de comprendre le contexte libanais et les enjeux d'une certification énergétique des bâtiments au Liban. Le deuxième objectif est de développer une procédure de certification énergétique (dans le cadre d'un projet européen SAVE) qui sera appliquée au contexte libanais et dont l'application pourrait conduire à une meilleure maîtrise des consommations d'énergie.

Dans le premier chapitre, nous faisons un recueil des informations et des données nécessaires à la suite du travail. Après avoir exposé les difficultés de cette démarche (accès aux informations, validité des données, manque d'études et de statistiques récentes), nous présentons les spécificités du contexte libanais.
Nous décrivons dans le deuxième chapitre la situation de l'habitat au Liban à travers une enquête sur le terrain. Parallèlement à cette enquête, une série de questionnaires et une étude plus spécifique sur quatre bâtiments permettront de mettre en évidence les défauts de cet habitat. Sont encore présentées les solutions envisageables pour une politique énergétique saine dans le secteur résidentiel au Liban.

Dans le troisième chapitre, nous présentons une revue générale des méthodes de certification existantes et nous montrons les limites et les problèmes communs à ces méthodes. Nous nous interrogeons ensuite sur l'intérêt éventuel des libanais pour une telle procédure grâce à une enquête par questionnaires. Les résultats de cette enquête réalisée sur le terrain permettront de donner des éléments de réponse et de dégager les formes d'application possibles. Cela aboutit à la sélection d'une méthodologie de certification qui prendra en compte la description du bâtiment, de ses systèmes, de ses équipements, et des spécificités de fonctionnement et d'usage ainsi que des mesures judicieusement choisies.

Nous présentons dans le quatrième chapitre l'intérêt et les difficultés de la prise en compte du comportement des occupants pour le calcul de la consommation réelle qui est une originalité de la procédure. Nous définissons les paramètres liés au comportement des occupants et nous nous attardons sur l'étude des gains internes. Pour ces gains, calculés d'une façon précise

dans notre procédure, nous réalisons un inventaire des méthodes permettant de les calculer. Nous étudions ensuite, à l'aide de simulations numériques, leurs interactions avec le chauffage et les facteurs de récupération.

Le développement de la procédure choisie fait l'objet des deux chapitres suivants. Dans le chapitre V, nous détaillons les différentes phases de la procédure. Nous proposons également un protocole expérimental pour la première phase d'analyse sur site et de mesures ainsi que pour le traitement des données. Pour la seconde phase de calcul des consommations, nous expliquons les différentes entrées et les algorithmes de calcul utilisés dans l'outil informatique développé et nous apportons des solutions à certains problèmes liés au calcul des consommations tels que les déperditions par les conduites du système de chauffage.

Le sixième chapitre traite la mise en œuvre et la sensibilité de la procédure développée dans son domaine d'utilisation. L'application in situ en Europe et l'étude détaillée de quatre bâtiments au Liban permettront de prouver l'applicabilité de la procédure et de mieux connaître ses avantages et ses limites ainsi que ses possibilités de développement. Une étude de sensibilité, par utilisation de plans d'expériences, permettra d'évaluer l'importance de la précision de certains paramètres d'entrée et de discuter les choix faits pour la phase de mesures.

Enfin, dans un septième et dernier chapitre, nous nous interrogeons sur les variables essentielles à l'évolution de la certification énergétique au Liban. Dans ce but, nous développons une réflexion prospective qui offre des éléments communs de réflexion sur le problème posé. Pour initier une telle approche, nous proposons une analyse structurelle qui permettra de faire apparaître les variables et les acteurs influents et dépendants de la certification.

Chapitre I

Analyse du contexte libanais

I.1. Introduction

L'ensemble des données concernant le climat, l'énergie, l'environnement et la construction au Liban ont fait l'objet et continuent de faire l'objet d'investigations variées. Nous pourrons cependant nous rendre compte du manque d'études sur le terrain et de statistiques dû au retard causé par les années de guerre.

Le recueil que nous présentons est le fruit d'un certain nombre d'entretiens avec des spécialistes dans différents domaines (génie civil, architecture, énergie, électricité, etc) et des informations venant de différentes sources. Notre étude ne prétend pas présenter toutes les informations sur les thèmes évoqués. Elle n'en constitue pour nous qu'une étape nécessaire, capable de décrire le cadre général de notre travail concernant la maîtrise d'énergie dans les bâtiments et de nous fournir les informations nécessaires pour les prochaines étapes.

1.2. Aperçu historique et géographique

Le Liban est un pays méditerranéen de 10 452 km² de superficie et de 3,7 millions d'habitants environ, réparti sur cinq départements (Liban-Nord, Beyrouth, Békaa, Mont-Liban et Liban-Sud). Il est constitué principalement d'une étroite bande côtière de 220 km de long (figure I.1) et qui abrite les 2/3 de la population et plus de 75% de son activité économique. De 1975 à 1990, le pays a sombré dans une guerre qui a causé d'énormes dégâts dans tous les secteurs (économie, énergie, infrastructure, construction, industrie, agriculture, tourisme, éducation, etc).



Figure I.1: Carte du Liban

I.2.1. Location et topographie

Le territoire libanais comprend en général la plupart des montagnes de l'Est de la côte méditerranéenne. En latitude, il s'étend approximativement entre 33.2° et 34.7°N et en longitude entre 35.2° et 36.6°E [Takahashi A., Arakawa H., 1981].
Il est constitué principalement d'une étroite bande côtière et de deux chaînes de montagnes parallèles (1500-2500 m) qui couvrent le long du pays, l'une surplombant la côte et l'autre un plateau fertile (la plaine de la Békaa , 500-1000 m). (figure I.2.)

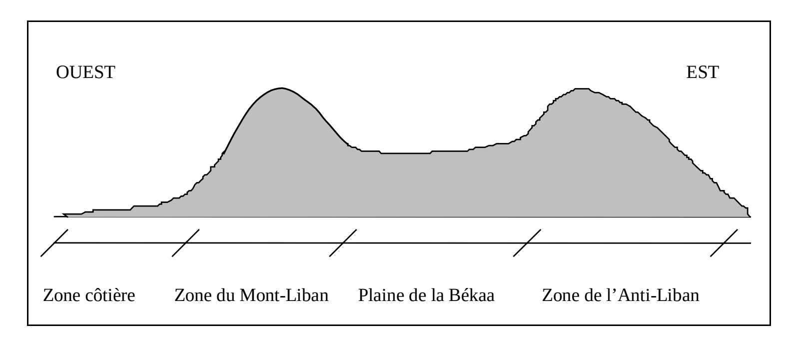


Figure I.2: Coupe schématique du Liban selon un axe Est-Ouest

La disposition du relief (figure I.2.) explique la division du Liban en trois zones géographiques : la côte, la montagne et la plaine intérieure.

I.3. Le climat

I.3.1. Climat général

Le climat libanais est en général de type méditerranéen, caractérisé par un été sec et tempéré, un hiver froid et très humide et deux saisons de transition plutôt douces (Météorologie Nationale, 1966).
La côte est caractérisée par un été chaud et humide (de juin jusqu'en septembre), un hiver froid (de décembre jusqu'en mars) et deux saisons de transition plutôt tempérées et peu pluvieuses (l'automne dure généralement deux mois : octobre et novembre, et le printemps dure lui aussi deux mois : avril et mai).
La montagne est caractérisée par un climat tempéré et sec en été, un hiver froid et pluvieux et deux saisons de transition plutôt froides et pluvieuses.
Le climat dominant dans la plaine est chaud et sec en été, froid et humide en hiver, et tempéré et un peu pluvieux durant les saisons de transition [Comair F., 1989].

I.3.2. Quelques éléments climatologiques

Deux paramètres sont à l'origine des variations des éléments climatologiques :
- L'influence de l'altitude
- L'influence de la proximité de la mer

Nous donnons ci-après quelques éléments climatologiques caractérisant le climat libanais :
La température : Les températures présentent de forts contrastes entre l'hiver et l'été. Sur les côtes méditerranéennes, la température moyenne du mois le plus froid (janvier) est supérieure à 10°C ; l'été est chaud, sauf en montagne, avec des maxima absolus pouvant dépasser les 37°C (août). Les gradients de température entre le jour et la nuit sont beaucoup moins accentués sur le littoral qu'en plaine :10°C à Beyrouth et 20°C à la Bekaa.
Les températures de l'air extérieur décroissent avec l'altitude à raison de 0.6°C tous les cent mètres.
L'humidité : L'humidité relative connaît une variation diurne et saisonnière. Elle varie aussi avec la localité [Takahashi A. Arakawa H., 1981]. La côte et les montagnes sont généralement humides (70% à 80% de l'humidité relative), par contre la plaine voisine est plus sèche (50% de moyenne d'humidité).
La durée d'ensoleillement : La durée d'ensoleillement est presque toujours importante. Sa durée annuelle atteint 3000 heures sur la côte et 3200 heures dans la plaine [Ouaida B, 1986].
Le régime des vents : Le régime des vents n'est pas uniforme, variant du littoral à l'intérieur du pays [Comair F., 1989]. Ces vents peuvent être classés de la manière suivante :
- le vent maritime et le vent continental dont la vitesse ne dépasse pas les 10 m/s,
- le vent dit « khamsin » provenant des zones désertiques africaines dont la vitesse pourrait dépasser parfois les 15m/s.

I.3.3. Données climatiques

Les données climatiques que nous avons pu trouver au Liban sont :
- Les données de la Météorologie Nationale : jusqu'à 1975, la météo nationale avait des données climatiques provenant de différentes stations placées dans tout le pays. Les données disponibles de la météo nationale sont anciennes et nous ne disposons pas de données plus récentes qui soient fiables ;

- Les données de l'Aéroport International de Beyrouth (Direction générale de l'aviation civile, Service météorologique) relatives au climat de Beyrouth ;
- Les données de l'observatoire de l'Université Américaine pour Beyrouth ;
- Les données de l'observatoire de Ksara sur la plaine de la Békaa.

Pendant la guerre, ces stations ont subi des dégâts mais maintenant elles sont en cours de réhabilitation. Le Conseil National de la Recherche Scientifique Libanais avait élaboré dans les années 80, en collaboration avec le Service de la Météorologie nationale, un projet d'installation de douze stations choisies de manière à caractériser les principaux micro-climats libanais mais ce projet n'a pas vu le jour.

I.3.4. Zones climatiques

Il n'y a pas d'études officielles sur le zonage climatique au Liban, citons cependant le travail de Mourtada [Mourtada A., 2000] qui divise le Liban en trois zones :

1. zone A : elle comprend le rivage occidental de la chaîne côtière, dans laquelle il y a deux sous-zones :
   - A1 : altitude < 500 m
   - A2 : 500 < altitude < 900 m
2. Zone B : elle comprend le versant occidental de la chaîne côtière avec des avancées au Nord et au Sud (une influence régulatrice de la mer est ressentie), dans laquelle il y a deux sous-zones :
   - B1 : 900 < altitude < 1500 m
   - B2 : altitude> 1500 m
3. Zone C : elle s'étend des sommets de la chaîne côtière jusqu'à la frontière syrienne (l'influence régulatrice de la mer n'est pas ressentie), dans laquelle il y a deux sous-zones :
   - C1 : 900 < altitude < 1500 m
   - C2 : altitude > 1500 m

L'ALMEE [Libnor, 1999]a proposé le découpage du Liban en cinq zones climatiques à partir de l'analyse des degrés-jours de chauffage d'un certain nombre de stations météorologiques (tableau I.1.).

Zones climatiques	DJU_{18} (°jour)
H1	3500
H2	2500
H3	2000
H4	1300
H5	700

Tableau I.1: Degrés-jours de chauffage base 18 correspondant aux cinq zones climatiques

Faute de données détaillées et officielles, nous considérons pour notre travail la répartition donnée dans la thèse de Comair [1989] pour les conditions d'hiver : zone tempérée, zone moyenne, zone froide et zone intérieure. La température et l'ensoleillement de chacune de ces zones sont issus des données de la Météorologie Nationale et sont donnés dans l'annexe I.a.

I.4. Panorama de l'énergie

I.4.1. Les sources d'énergie utilisées

Le Liban dépend des énergies non renouvelables (énergie fossile) dont les ressources ne se trouvent pas sur le territoire national. Donc le Liban a une très grande dépendance du cours mondial de pétrole. Il a importé en 1995 presque 98% de ses besoins en énergie primaire [ALMEE, 1996] ; ils sont basés principalement sur les dérivés pétroliers dont l'essence, le mazout, le fuel-oil, le kérosène et le Gaz-butane (tableau I.2).

Produits pétroliers/ (en milliers de tonnes)	1998	1999
Essence	1358	1429.8
Mazout	1424.6	1649.4
Kérosène	97.3	150.3
Fuel oil	1580.4	1336.4
Gaz-Butane	102	94.2

Tableau I.2: Produits pétroliers importés en 1998 et 1999
(Administration Centrale de la Statistique – Liban)

Les énergies renouvelables, malgré un contexte géographique et socio-économique propice à leur développement, représentent moins de 1% dans le bilan énergétique global du pays. Parmi ces énergies, nous pouvons citer :

La biomasse : La surface boisée du Liban équivalait en 1997 à seulement 8% de son territoire. Le développement de ce secteur énergétique encore très mal exploité requiert une meilleure gestion du bois en général et des déchets non exploités actuellement.

L'hydro-énergie : La puissance fournie à partir des centrales hydrauliques représentait en 1992, 15% de la puissance électrique actuellement produite. La part de l'hydro-énergie va en décroissant dans la production électrique car le Liban a aménagé dans ce domaine tous les grands sites favorables [ALMEE, 1997].

L'énergie éolienne : L'énergie éolienne est utilisée depuis longtemps sur la côte libanaise pour pomper l'eau de mer des marais salants. Une évaluation complète et détaillée ne peut être faite qu'en fonction des données précises sur le micro-climat local concernant les vents et leurs fréquences. En effet, vue la topographie très escarpée du terrain, il existe des régions bénéficiant de bons régimes de vents localisés. Mais il faut tester quelques installations pilotes de petites puissances afin d'en évaluer les rendements à long terme et maîtriser la technique pour une éventuelle croissance de cette application [Ouaida B, 1986].

L'énergie solaire : Le Liban est géographiquement bien placé pour tenter le développement du solaire. En effet, il reçoit annuellement 6500 MJ/m²an [Ouaida B., 1985].

Au Liban, le solaire est encore peu développé par suite :

- d'une absence d'une volonté politique pour promouvoir le solaire thermique au Liban (inexistence de cadres réglementaires et de programmes de développement du solaire thermique au moyen ou long terme, absence d'incitations financières pour le consommateur) [ALMEE, 2000],
- de la politique de tarification énergétique qui ne reflète pas son coût réel,
- d'une inadaptation de certaines filières solaires à la spécificité socio-économique du pays,
- du prix élevé de l'investissement (temps de retour élevé >7 à 8 ans),
- d'une incompétence des installateurs à cause du manque de coordination [El Baba W., 1993],
- d'une ignorance des avantages par le consommateur.

I.4.2. La consommation en énergie

L'analyse du bilan en énergie finale montre que l'essence et le gasoil représentent à eux deux plus de 66% de l'énergie finale, ce qui explique l'importance du secteur de transport : 45% de la consommation en énergie finale, contre 25% pour l'industrie et 30% pour le résidentiel et tertiaire [ALMEE, 1998].

La consommation en énergie primaire (et finale) a augmenté en 1995 de plus de 18% par rapport à 1994 avec un tcam[1] de 16% confirmant la tendance de la croissance de la demande en énergie pour répondre au développement économique (tcam du PIB[2]=8%) et à la croissance démographique (tcam =2,9%).

La consommation en énergie par tête d'habitant a été de 1130 ktep[3] en 1995. Elle reste cependant inférieure à la moyenne mondiale qui est de 1500 ktep.

Le taux d'intensité énergétique[4] confirme la tendance à la hausse. Il a été en 95, de 0.64 tep/1000 $ soit en augmentation de 7% par rapport à 94. Il est de plus de 2.2 fois celui des pays développés malgré la faible consommation en énergie par tête d'habitant et une structure du secteur économique basée sur des industries légères à faible contenu énergétique. Elle s'explique par le comportement du consommateur, la vétusté du parc des équipements de consommation, la structure spécifique du secteur du transport et surtout l'absence de toute politique, au niveau national, de gestion rationnelle de l'énergie [ALMEE, 1996].

I.4.3. L'électricité

La production électrique en 1999 était à 13% hydraulique, 87% thermique dont 96% thermique vapeur/fioul et 4% turbine à gaz/gasoil [ALMEE, 1999]. Le tableau I.3. donne la production et l'achat d'EDL (Electricité Du Liban) en 1998 ainsi que la consommation électrique.

Désignation	Millions de kWh
Production de l'E.D.L.	7662
Achat de l'E.D.L.	1349
Consommation	9010

Tableau I.3: Production, achat et consommation d'électricité en 1998
(Administration Centrale de la Statistique – Liban)

La consommation annuelle en électricité par habitant a été, en 95, de 1500 kWh soit le 1/3 de celle des pays de la communauté Européenne ou le 1/5 de celle du Canada ou des Etats-Unis.

[1] Taux de Croissance Annuel Moyen
[2] Produit Intérieur Brut
[3] TEP = Tonne Equivalent de Pétrole = 4000 kWh électrique
[4] Energie primaire / PIB

La consommation électrique par secteur montre la part importante du secteur résidentiel (figure I.3.) qui était de 38% en 1996. Ce secteur explique 70% à 80% de la demande en période de pointe [ALMEE, 1998].

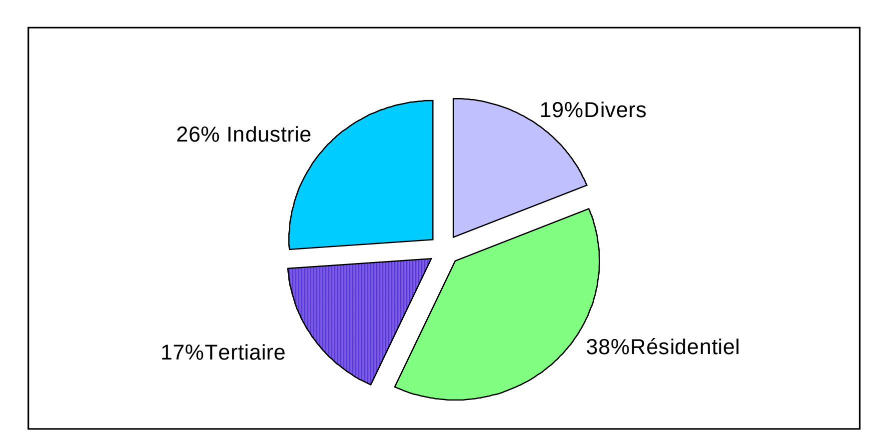


Figure I.3: Consommation d'électricité par secteur

I.4.4. Le prix des principales énergies

Les tarifs de l'électricité, surtout en secteur résidentiel (tableau. I.4) sont bien en dessous des coûts réels de production-distribution [Cornut B., 1997]. Cela fait que les recettes tirées de la vente de l'énergie électrique représentaient en 1992, 20% seulement des dépenses engagées [Menguy G., 1993]. Le secteur public de l'électricité est alors structurellement déficitaire.

KWh/mois	Prix du kWh en L.L.[5]
100	35
101 – 300	55
301 – 400	80
401 – 500	120
> 500	200

Tableau I.4: Les tarifs de l'électricité dans le secteur résidentiel

En 1999, le prix d'un kg de gaz était de 1000 L.L. et le prix de 20 l de mazout était de 7600 L.L. Mais ces prix tendent à augmenter avec les fluctuations du prix de pétrole.

I.5. L' environnement

Le Liban est aujourd'hui en période de reconstruction et de nombreux problèmes liés à l'environnement apparaissent et nécessitent des solutions appropriées et durables. Parmi ces problèmes, nous citons :

[5] 1 Euro = 1640 LL

- la gestion des déchets (ordures ménagères, déchets encombrants, déchets toxiques, déchets industriels)
- la gestion des eaux usées
- la pollution de l'eau (eau de mer, eau potable)
- la pollution de l'air liée au secteur du transport et à la production de l'énergie : en effet, la combustion de l'énergie au Liban basée sur les hydrocarbures (4200 ktonnes) et un peu de charbon (180 ktonnes), a entraîné par exemple en 1993 des émissions de substances nocives estimés à plus de 15 ktonnes de poussières, 80 ktonnes de SO_2, 40 ktonnes de NOx et autant de composés organiques. Elle a aussi produit 3.5 millions de tonnes de CO_2, soit 0.88 tonne par habitant et par an, supérieure de 25% à la production moyenne par habitant des pays de la région [ALMEE, 1997]
- la pollution sonore
- la pollution du sol.

I.6. La construction

I.6.1. Etat de la construction au Liban

La demande sur le bâtiment s'est accrue après les longues années de guerre- 15 000 000 m² de surface bâtie en 1995 dont plus de 70% pour le résidentiel - doublée d'une paupérisation généralisée de la population (réduction de moitié du PIB entre 1974 et 1994), ont entraîné le développement anarchique d'un habitat social à faible coût mais de qualité médiocre, inesthétique, inconfortable et grand consommateur en énergie (figure I.4).



Figure I.4: Vue aérienne d'une partie de Beyrouth

Les besoins du pays en matière d'habitat sont évalués à plus de 400 000 logements à l'horizon 2005 [Chehab S., 1998]. Le tableau I.5. montre l'importance des superficies des permis de construire enregistrés en 1998 et 1999.

Désignation/ (superficies en milliers de m²)	1998	1999
A l'ordre des ingénieurs de Beyrouth	8171	8820
A l'ordre des ingénieurs du Liban-Nord	1646	1614
Total	9817	10434

Tableau I.5: Superficies des permis de construire enregistrés en 1998 et 1999 (Administration Centrale de la Statistique – Liban)

I.6.2. Les techniques et les matériaux de construction au Liban

Les mêmes matériaux de construction sont souvent utilisés dans le secteur résidentiel pour les différentes zones climatiques pour des raisons de coût et de disponibilité. Nous donnons ci-après les techniques et la composition des principaux éléments de la construction :

<u>Murs extérieurs</u> : La plupart des immeubles d'habitation construits actuellement au Liban font appel à des techniques de construction traditionnelles :

- structure poteaux/poutres coulées sur place,
- murs extérieurs souvent réalisés en parpaings creux de 15 ou 20 cm plus enduit ciment des deux côtés, avec quelques fois une pierre naturelle de 3.5-5 cm en parement extérieur soit pour des raisons esthétiques soit pour répondre au code de l'urbanisme dans certaines régions classées.

Dans la majorité des cas, les façades ne sont pas isolées. Récemment une nouvelle composition est apparue : une paroi double constituée de deux agglomérés de 10 cm séparés par un vide d'air dans le but d'essayer d'isoler un peu mieux le logement car les isolants thermiques restent chers.

<u>Murs intérieurs</u> : Ils se font avec un aggloméré de 10 cm avec enduit ciment des deux côtés (1.5 à 2 cm). Les cloisons verticales entre logements se font en parpaings creux de 20 cm, 3 alvéoles avec enduits de part et d'autre.

<u>Carrelage</u> : C'est le revêtement de sol le plus utilisé, il est en marbre ou en céramique pour les salons, et en terrazo (1.5-2 cm) ou en céramique (5-6 mm) pour les chambres.

<u>Planchers</u> : Le mode de construction le plus usuel est constitué de planchers en béton armé :

- planchers à poutrelles et hourdis avec dalle de répartition coulée sur place,
- revêtement de sol en carrelage sur sable ou en mortier sur ciment [Libnor, 1999]

Dans la majorité des cas, les planchers-bas ne sont pas isolés et malgré l'importante épaisseur il y a transmission du bruit d'impact d'un appartement à l'autre.

Toitures: Les toitures sont généralement des toitures-terrasses. Leur structure est renforcée pour supporter des réservoirs d'eau [Libnor, 1999]. Elles sont souvent formées de 20 cm de béton et de 1.5 d'enduit. Dans la majorité des cas ces toitures ne sont pas isolées et provoquent des problèmes que ce soit au niveau de l'humidité ou au niveau des ambiances : très chaud en été et froid en hiver. Il n'y a pas de produit d'étanchéité utilisé pour la protection des logements sous la toiture terrasse dans les bâtiments anciens. Dans les nouveaux bâtiments, le revêtement d'étanchéité, en asphalte, est simplement posé sur le support.

Les charpentes : Elles étaient construites jusqu'en 1994 en dur, béton ou hourdis recouvert d'une structure bois et de tuiles dans 99% des cas. Actuellement la charpente en bois est réutilisée si elle ne donne pas sur une des pièces habitables sinon elle reste en dur [Jabre S., 1995].

Le vitrage : Le vitrage le plus souvent utilisé est un vitrage simple de 4 mm d'épaisseur clair ou teinté. Mais nous commençons à voir des vitrages doubles dans quelques constructions neuves.

Menuiseries : La menuiserie extérieure se fait en général en aluminium, elle vient se poser directement sur l'aggloméré ou sur un cadre en marbre. Dans les bâtiments anciens, elle est en bois ou en acier. La menuiserie est souvent posée par des personnes non qualifiées et les finitions sont mal soignées, ce qui provoque des problèmes tels que les infiltrations d'air et la dégradation rapide de l'installation. La menuiserie intérieure se fait généralement en bois. Les fenêtres et portes-fenêtres sont de type coulissant horizontalement.

Volet : Il se présente sous deux formes :

- le volet roulant
- le système ancien, qui est l'abat-jour en bois à double battant qui n'est plus utilisé à cause de son coût élevé et de la maintenance.

Comme pour la menuiserie, la qualité de finition n'est pas très bonne ce qui provoque des dégradations rapides.

Ventilation : La ventilation est de type naturelle ou mécanique. L'extraction de l'air vicié s'effectue par des gaines en WC et salle de bains. Dans la majorité des cas, il n'y a pas d'entrée spécifique au niveau des fenêtres et portes-fenêtres [Libnor, 1999].

	Bâtiments anciens	Bâtiments nouveaux
	~ avant 1970	~ après 1970
Murs extérieurs	pierre / ~ 30 cm, non isolé	Parpaings 15 ou 20 cm + enduit ciment, très rarement isolé
Murs intérieurs	Aggloméré 10 cm + enduit	Aggloméré / 13 cm
Toiture-terrasse	Non isolée	Non isolée (produit d'étanchéité)
Plancher	Béton armé (poutrelle+hourdis), non isolé	Béton armé (poutrelle+hourdis), non isolé
Menuiseries extérieures	Bois - acier	Aluminium ou PVC
Vitrage	Vitrage simple (clair)	Vitrage simple (clair ou teinté)
Volet	Abat-jour en bois	Volet roulant

Tableau I.6: Tableau récapitulatif des principaux matériaux de construction

I.6.3. Les réglementations et les études dans le secteur bâtiment

Avec la reconstruction, l'institut de Normes Libanaises a lancé un projet visant à définir des normes libanaises 'Libnor'. Nous citons parmi les documents normatifs déjà finalisés : le calcul des structures en béton armé, adjuvants pour béton, protection parasismique, sécurité et incendie, etc. Quant aux réglementations thermiques, quelques études avaient commencé avant la guerre et reprennent lentement. Un 'Guide de l'isolation thermique et du confort d'été des bâtiments au Liban', basé sur le D.T.U et les règles françaises ThK, a été réalisé en 1999 par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du bâtiment, France), l'Institut de Normes libanaises et l'ALMEE. Ce guide comprend les lignes directrices des exemples de solutions dans les bâtiments au Liban mais il n'a pas été diffusé car il a besoin d'être validé.

Une étude faite par le groupe de l'énergie solaire du CNRSL en 1986 [Ouaida B, 1986], montre que les applications thermiques de l'énergie solaire semblent prometteuses ; en particulier le chauffage de l'eau chaude sanitaire. En ce qui concerne le chauffage et la climatisation de l'habitat, cette étude montre qu'il n'est pas rentable de réaliser des systèmes de chauffage solaire dans la région côtière. Il est plus intéressant d'adopter d'autres techniques d'économie d'énergie (isolation thermique, régulation et automatisation de chauffage et de climatisation, etc) et de profiter du soleil de façon 'passive' (orientation, ouverture au sud, voire systèmes passifs tels que serre, véranda et mur trombe). Par exemple, une évaluation du coefficient de déperdition G (W/m²°C) pour différents habitats libanais donne des valeurs de 2 à 4 (en France G doit être compris entre 0.7 et 1.5 suivant les zones climatiques). La diminution de G passe par une amélioration de l'isolation des parois externes, une diminution des infiltrations d'air, un contrôle de la ventilation, etc. Le tableau

I.7 montre l'influence des différentes mesures de conservation sur le coefficient G et par conséquent sur les charges de chauffage.

Type de construction	Coefficient G	Economie de chauffage	
		Côte	Békaa
a. Traditionnel	2	0 %	0 %
b. parois externes modérément isolées	1.4	38 %	30 %
c. Mêmes conditions b + double vitrage et ouvertures externes étanches	1.2	50 %	40 %
d. Mêmes conditions c + parois externes bien isolées avec traitement des ponts thermiques	1.0	56 %	45 %
e. Mêmes conditions d + chauffage par pompe à chaleur	1.0	60 %	47 %

Tableau I.7: Influence des différentes mesures d'économie d'énergie sur le coefficient G [Ouaida B, 1986]

L'aspect économique de ces mesures est avantageux. En effet, le surcoût de l'isolation est généralement remboursable en deux à quatre années. Le rendement économique est d'autant plus élevé que le climat est froid ; il est particulièrement intéressant dans les régions de la montagne et de l'intérieur.

Une autre étude [Beydoun M., 1986] a concerné un logement supposé de référence. En l'absence de toute réglementation thermique, les méthodes de calcul françaises (règles Th-K, Th-G, Th-B) ont été utilisées. Pour un climat méditerranéen tempéré, caractérisant la bande littorale du pays, les déperditions calculées sont de 3.56 W/m²°C et les besoins en chauffage de 2.75 W/m²°C. Ces valeurs ont été ensuite comparées avec les valeurs réglementaires en France pour le même climat (zone H3) et qui sont respectivement de 0.95 W/m²°C et de 0.69 W/m²°C. L'étude montre que l'application de la réglementation thermique française peut diminuer de moitié les besoins en chauffage. Par contre, les besoins en climatisation ne diminuent que de 20%.

Actuellement la question de l'efficacité énergétique dans la construction fait l'objet d'un projet proposé par l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et de l'Environnement [ALMEE, 2000], à la suite d'un travail de coopération avec l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, France). En s'appuyant sur trois ou quatre opérations pilotes vraie grandeur, le projet a pour objectif de montrer la faisabilité technique et économique d'améliorations énergétiques dans l'habitat collectif. Le projet vise aussi, en utilisant les résultats de cette démonstration, à lancer une politique de maîtrise de l'énergie dans le secteur de l'habitat, par une sensibilisation des décideurs libanais et par un renforcement des capacités locales.

Une première opération de démonstration concerne un chantier à Zouk près de Beyrouth comprenant 51 logements sociaux, totalisant 3900 m². En phase 2, un à trois sites de démonstration seront sélectionnés.

Moyennant un surcoût limité environ à 5%, deux types d'améliorations sont introduits dans le programme :

- des équipements plus efficaces au plan énergétique (chauffe-eau solaires, lampes fluocompactes, ventilation mécanique contrôlée, etc) ;
- une conception adaptée des bâtiments (isolation de la toiture, masques, renforcement de l'étanchéité des parois et des fenêtres, protection solaire des ouvertures, etc)

La démonstration inclut un suivi instrumenté et un dispositif d'enquêtes auprès des usagers pour évaluer les effets des améliorations introduites.

Les coûts additionnels d'investissement sont financés selon des modalités adaptées :

- En totalité par les usagers pour les équipements efficaces, le projet assurant l'avance de la trésorerie ;
- Partiellement pour les améliorations sur le bâtiment, dont les effets sont plus difficiles à évaluer et qui présentent une rentabilité différée (aux tarifs actuels de l'énergie).

Il est prévu de mettre en place un fonds pour l'efficacité énergétique alimenté par le remboursement des équipements de chauffe-eau solaire par les usagers. Pour l'instant, nous ne disposons d'aucune analyse quant aux résultats de cette opération.

Les actions qui nous paraissent importantes à retenir pour la maîtrise de l'énergie dans l'habitat, au niveau national, incluent :

- La mise au point d'outils pour les concepteurs libanais de la construction ;
- La promotion d'équipements électroménagers plus efficaces et une initialisation d'un programme de maîtrise de la demande d'électricité auprès des décideurs ;
- Une sensibilisation des concepteurs intervenant sur les grands programmes de construction au Liban ;
- Des propositions validées, spécifiques aux zones climatiques, en vue d'une réglementation thermique ;
- La préparation de l'introduction de mécanismes financiers nationaux pour faciliter l'intégration, dans l'investissement initial, d'améliorations énergétiques.

I.7. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre un état des lieux du climat, de l'énergie et de la construction au Liban. Sans que l'on puisse prétendre à l'exhaustivité, ce panorama donne l'essentiel des connaissances en la matière.

Nous pouvons résumer les caractéristiques de la situation libanaise par :

- Une énergie primaire presque totalement importée, reposant sur les produits pétroliers ;
- Un secteur énergétique actuellement déficitaire et en cours de réorganisation (les tarifs fortement subventionnés devraient augmenter) ;
- Un développement rapide de la construction et une forte demande de logement ;
- Une consommation énergétique importante et un inconfort dans le secteur résidentiel ;
- Une période propice à des réglementations, notamment thermiques.

Cette étude montre que le Liban doit faire face à plusieurs défis pour la reconstruction. Il doit surtout repenser le problème de l'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités d'économie d'énergie. C'est dans ce contexte que s'insère notre travail pour le développement d'une procédure de certification énergétique des bâtiments.

Chapitre II

Caractérisation de la construction au Liban : enquêtes in-situ

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous essayons de faire apparaître de façon précise les caractéristiques de la construction au Liban. En l'absence de données statistiques précises sur la typologie de la construction, nous avons réalisé une enquête basée sur les permis de construire.
Dans le but de cerner les principaux problèmes thermiques et énergétiques dans les bâtiments, nous avons ensuite fait appel à une enquête par questionnaires sur la consommation d'énergie. Il s'agit en effet de recueillir des données sur le confort thermique dans les habitations, les systèmes et leur utilisation, la facture énergétique et les besoins des occupants. Après avoir précisé la méthodologie adoptée et l'échantillon, nous présentons les principaux résultats qui sont discutés par rapport aux objectifs de l'étude.
Pour compléter ce chapitre, nous présentons une étude de quatre appartements qui sert à vérifier toutes les données trouvées jusqu'à ce stade et d'apporter un complément concernant le taux d'équipements, le comportement des occupants et leur perception de l'ambiance thermique de leur logement.

Nous concluons enfin par une proposition de solutions envisageables contribuant à la mise en place d'une politique énergétique saine.

II.2. Enquête sur la situation de l'habitat au Liban

II.2.1. Objectifs

Afin d'étudier l'habitat existant et d'essayer de définir la typologie de la construction, nous avons réalisé notre première enquête sur le terrain. Concrètement, nous comptions obtenir des informations sur les thèmes suivants :

- les caractéristiques constructives des bâtiments (nombre d'étages, surface habitée, surface vitrée, etc)
- les principaux matériaux de construction
- les principaux matériaux disponibles sur le marché
- les éventuels défauts liés à l'architecture et à la construction

II.2.2. Méthodologie

L'enquête s'est déroulée en avril 1998 et comprend deux phases. Premièrement, avec l'aide d'un architecte (Mr Moukhtar Baydoun), nous avons réalisé l'analyse de 348 permis de construire répartis entre les cinq départements du Liban et déposés auprès de l'ordre des ingénieurs et des architectes.
Nous avons ensuite complété cette analyse statistique par des entretiens avec des personnes travaillant dans le domaine du bâtiment (ingénieurs civils, architectes, enseignants, etc).

II.2.3. Analyse des résultats

Les principaux résultats sont donnés sous forme de moyennes et d'écart-types présentés dans le tableau II.1. Les résultats pour chaque région sont donnés dans l'annexe II.a et sont discutés ci-après.

	Moyenne	Ecart-type
Nombre d'étages	4.8	2.2
Nombre d'appartements par étage	1.4	0.6
Surface habitée/appartement (m²)	163.2	51.0
Surface des balcons/appartement (m²)	34.5	16.0
Nombre de balcons/appartement	3.2	1.1
Surface vitrée Nord (m²)	6.3	4.4
Surface vitrée Sud (m²)	5.7	4.2
Surface vitrée Est (m²)	5.4	4.1
Surface vitrée Ouest (m²)	5.8	4.6

Tableau II.1: Caractéristiques principales de la construction issues des permis de construire

Nous pouvons noter que :

- La hauteur moyenne d'un bâtiment est donc d'environ 5 étages. Chaque étage comprend un ou deux appartements, ce qui s'explique par l'importance de la surface habitée. A Beyrouth, où la concentration de la population est importante, nous trouvons le minimum de surface habitée par appartement et le maximum d'étages.
- La surface et l'orientation des baies vitrées ne sont pas choisies selon les conditions climatiques mais selon la vue qu'offrent les fenêtres. La surface totale des vitrages est de 24 m² en moyenne.

II.2.3.3. Les principaux défauts de l'habitat

Les principaux défauts de l'habitat au Liban peuvent être résumés par les points suivants:

- Les matériaux d'isolation sont très peu utilisés et se limitent à l'isolation des toitures ;



Figure II.2: Exemples de bâtiments en construction à Tripoli

- L'étanchéité est mal soignée et n'offre pas de protection suffisante contre les agents extérieurs (pluie, vent, poussière, etc) entraînant des migrations d'eau à l'intérieur des murs par capillarité ;
- L'absence de revêtement de façade, d'écran solaire, une orientation et une couleur inadaptées ;
- Des baies vitrées mal adaptées, mal orientées et mal installées, souvent non hermétiques, qui engendrent des infiltrations exagérées d'air extérieur avec toutes les nuisances conséquentes : alourdissement du bilan thermique, courant d'air gênant, amenée de poussières et bruits extérieurs ;
- Un grand nombre de pièces dont certaines ne sont pas chauffées, ce qui entraîne des condensations sur les murs (figure II.3).

Ainsi, l'architecture n'est pas adaptée au climat (orientation, construction standardisée et avec les mêmes matériaux dans les différentes zones climatiques).



Figure II.3: Traces d’humidité dans la chambre d’un logement étudié à Ballouné

II.2.3.3.1. Les solutions envisageables

Une transformation profonde doit être faite dans la conception des nouveaux projets ou dans la réhabilitation des bâtiments existants et notamment dans les domaines suivants :

- choix des matériaux de construction (exemple : isolation thermique des façades, des dalles et des toitures) ;
- choix de l’inertie et de la résistance thermique (exemple : isolation par l’intérieur pour les zones tempérée, moyenne et froide et par l’extérieur pour la zone intérieure) [Comair F., 1989];
- orientation du bâtiment en fonction du soleil et du vent et utilisation de protections contre le rayonnement solaire pour les parois vitrées, opaques et les toitures ;
- la réduction ou l’augmentation du taux moyen de ventilation en fonction des zones climatiques ;
- l’élaboration et l’adoption d’une réglementation thermique spécifique au pays.

II.3. Questionnaires sur la consommation énergétique dans le secteur résidentiel

II.3.1. Objectifs

Cette enquête, réalisée pendant l'été 1998, vient en complément de la précédente et offre des informations différentes. L'objectif principal est de connaître les habitudes liées à la consommation d'énergie dans les bâtiments et d'obtenir des informations sur les systèmes énergétiques utilisés.

Parallèlement, nous profiterons de ces questionnaires pour tenter de collecter des éléments sur le confort thermique qui permettront d'appuyer ou de contrer les résultats de la partie précédente. Nous nous attendions donc à ce que les personnes interrogées effleurent, par l'expression d'un manque ou l'explication des problèmes rencontrés, leurs attentes et leurs besoins.

Concrètement, nous cherchons à répondre aux questions suivantes:

- Quels sont les facteurs d'inconfort et quel est le comportement des occupants face à cet inconfort?
- Quels sont les systèmes de chauffage et de climatisation utilisés et quels sont les modes d'utilisation?
- Comment les libanais jugent-ils leur facture énergétique?
- Est-ce que les occupants ont besoin de conseils en matière d'économie d'énergie?

II.3.2. Méthodologie

Dans l'éventail des outils existants, nous choisissons un questionnaire écrit qui peut être utile pour confirmer les résultats obtenus après une phase exploratoire. D'un point de vue matériel, le questionnaire écrit est mieux adapté aux enquêtes sur de grands échantillons de la population. Il s'agit d'inviter la personne interrogée à répondre à des questions, soit en choisissant une ou plusieurs réponses parmi un certain nombre proposé, soit en s'exprimant librement dans un espace réservé [Enrech-Xena C., 1999].

Après avoir cerné les points importants pour l'enquête, nous avons mis au point un questionnaire de quatre pages. Un exemplaire du questionnaire utilisé est présenté dans l'annexe II.b.

Pour le jugement du confort thermique, nous avons utilisé une échelle allant du confortable à l'intolérable en 5 points. Le reste des questions suggérait en général une série de réponses parmi lesquelles la personne interrogée pouvait choisir une ou plusieurs options tout en laissant parfois quelques lignes pour les commentaires. Nous avons eu des difficultés en abordant les dernières questions, celles concernant la méthode de prédiction. Ces questions mêlent en effet plusieurs paramètres : étude énergétique proposée, conseils possibles et chiffrage de l'investissement dans les travaux préconisés par l'enquête.

Vu le type de données et la qualité des informations que nous recherchons, nous avons décidé d'accompagner les gens lors du remplissage du questionnaire. Nous avons donc bâti un protocole déclinant les deux aspects (questionnaire + conversation). L'idée était d'établir un échange oral avec les personnes interrogées, ce qui nous a permis de garantir la compréhension des questions posées et d'avoir des renseignements supplémentaires sur des problèmes qui ne sont pas forcément évoqués dans le questionnaire.

II.3.3. Echantillon

Nous avons cherché à avoir l'échantillon le plus représentatif possible. Cela voulait dire que nous devions pouvoir interviewer des gens de différents âges, professions et classes sociales. Nous avons également cherché à varier la répartition géographique et le type des logements. Le questionnaire a été soumis à 70 personnes.

L'échantillon final était composé de la manière suivante :

- 47% d'hommes et de 53% de femmes
- 13% enseignants, 4% retraités, 3% en recherche de travail, 1% rentier, 28% étudiants, 17% employés, 11% commerçants, 6% cadre, 6% professions libérales
- 30% de maisons individuelles et 70% d'appartements (la plupart de ces habitations comprennent 5 ou 6 pièces et une ou deux salles de bain).

II.3.4. Résultats et discussion

II.3.4.1. Le confort

En matière de confort, 44% des personnes interrogées trouvent leur habitat inconfortable (en moyenne : 26% légèrement inconfortable, 16% inconfortable et 2% très inconfortable) (figure II.4).

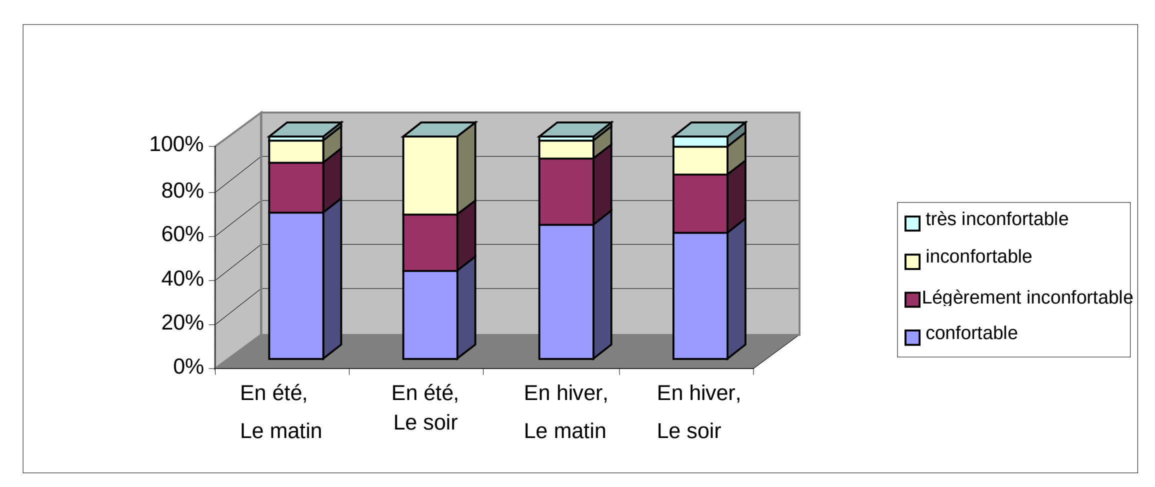


Figure II.4: Appréciation du confort thermique

L'inconfort est plus ressenti pendant la saison d'été, car en hiver les gens trouvent des solutions avec différents systèmes de chauffage pour chauffer la pièce où ils se réunissent, tandis qu'en été il est plus difficile d'avoir un moyen de rafraîchissement. Il faut noter aussi que les gens ont été interrogés en été, ce qui leur rend plus sensibles à l'inconfort de cette saison.

Mais il existe une période très inconfortable qui est en hiver le soir, expliquant l'existence d'habitations mal équipées en moyens de chauffage. Pour les deux saisons, il y a plus d'inconfort le soir que le matin.

II.3.4.1.1. Facteurs d'inconfort

Pour cette question, plusieurs réponses étaient possibles.

En été, les facteurs d'inconfort les plus importants sont respectivement la poussière, la chaleur, l'humidité et les bruits (figure II.5). La poussière et les bruits sont liés au fait qu'en été les gens cherchent les courants d'air et ont tendance à ouvrir les fenêtres.

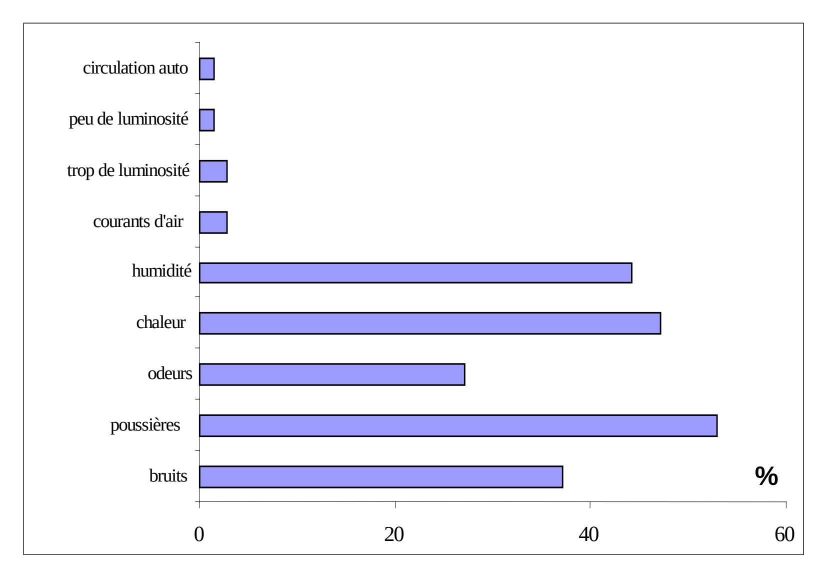


Figure II.5: Facteurs d'inconfort en été

A ces facteurs viennent s'ajouter les odeurs provenant de la défaillance des systèmes d'évacuation des eaux usées et des ordures.

En hiver, les gens ressentent moins les problèmes provenant de l'extérieur (odeurs, poussières, bruits, etc) et sont plus sensibles au froid et aux courants d'air (figure II.6). Ceci est dû aux défauts de la construction évoqués dans le paragraphe II.2.3.3.

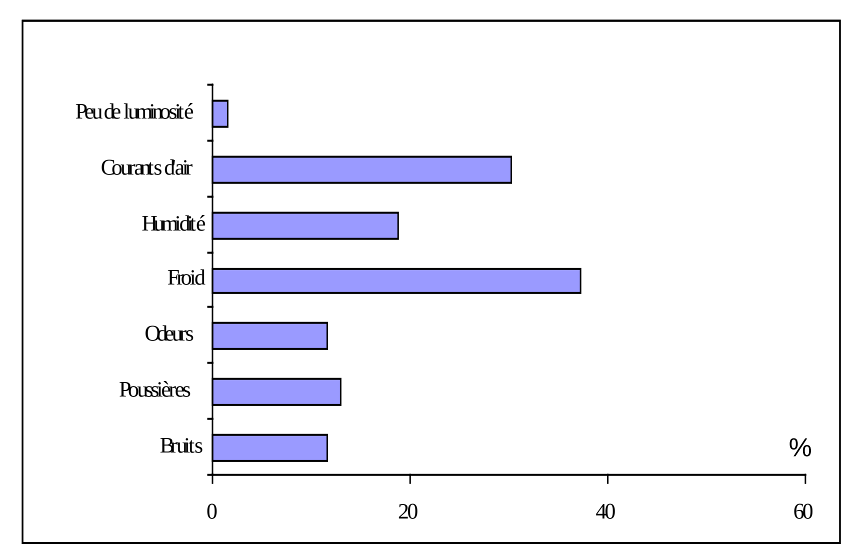


Figure II.6: Facteurs d'inconfort en hiver

II.3.4.1.2. Amélioration du confort

Pour cette question également, plusieurs réponses étaient possibles.

Pour améliorer leur confort thermique en été, 72.9% des gens ont tendance à chercher les courants d'air et 80% à mettre des vêtements légers. L'utilisation d'un ventilateur est aussi un

moyen utilisé dans 50% des cas. La climatisation est présentée dans la partie concernant les systèmes.
En hiver, la plupart des gens chauffent certaines pièces (78.6 % chauffent les pièces les plus utilisées surtout le séjour) et mettent des vêtements chauds quand ils se déplacent vers les autres pièces.
Même quand il existe, le système de chauffage central a une utilisation limitée dans la zone côtière.

II.3.4.2. Les systèmes

II.3.4.2.1 La climatisation

Le système de climatisation est présent dans 44% des logements étudiés où nous trouvons un ou deux climatiseurs par logement (figure II.7). Les gens installent de plus en plus des climatiseurs individuels ou bien un système central. Ce nombre important est dû à la disponibilité de climatiseurs d'occasion bon marché.

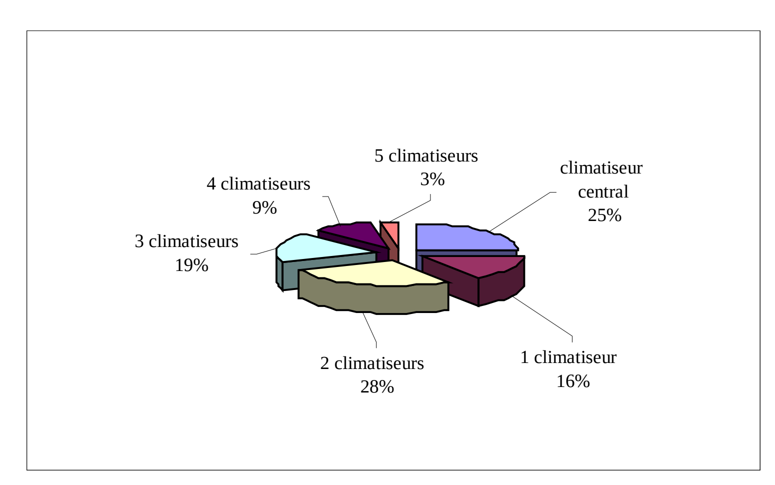


Figure II.7: Nombre de climatiseurs par logement (quand ils existent)

Mais il reste le problème de la facture d'électricité qui incite les gens à limiter l'utilisation des climatiseurs pendant la journée.
La climatisation est surtout utilisée pendant les mois de juillet et d'août et le plus souvent la nuit (figure II.8).

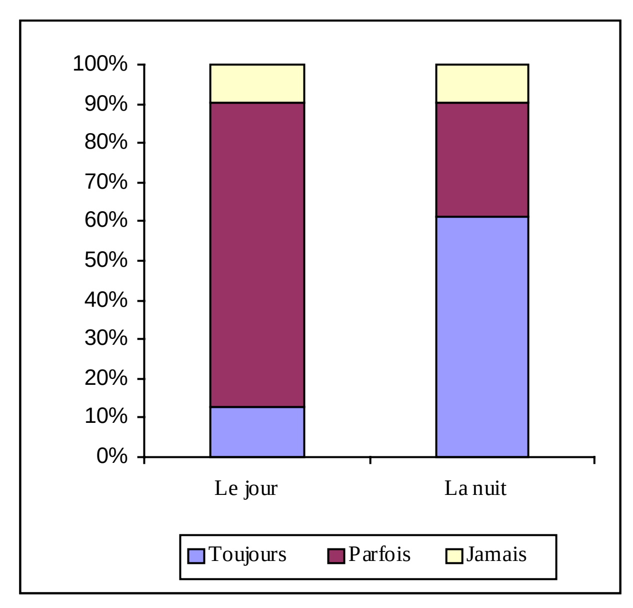


Figure II.8: Répartition de l'utilisation des climatiseurs le jour et la nuit

Il faut noter que l'utilisation du système de climatisation diminue les problèmes d'inconfort provenant de l'extérieur (chaleur, bruit, poussière, etc).

II.3.4.2.2. Le chauffage

L'électricité est l'énergie de chauffage la plus utilisée. Dans la plupart des logements, il y a des radiateurs électriques mobiles. Ces radiateurs sont pratiques car ils peuvent être déplacés et utilisés à volonté. Nous trouvons également des systèmes de chauffage à gaz ou à mazout. Les pourcentages d'utilisation de chacune de ces énergies sont donnés dans le tableau II.2 :

Energie	Pourcentage
Electricité	49 %
Mazout	28 %
Gaz	39 %
Pompe à chaleur	12 %
Charbon	3 %
Bois	4 %

Tableau II.2: Energie de chauffage dans les logements

Le chauffage est surtout utilisé fin décembre, janvier et février. Dans toutes les habitations, il y a un système de chauffage, ce qui n'est pas le cas pour le rafraîchissement en été.

Contrairement au système de climatisation, le système de chauffage est surtout utilisé pendant la journée. La nuit, la plupart des gens se contentent d'avoir des habits chauds et des couvertures épaisses.

Nous remarquons que le chauffage est plus utilisé que la climatisation, sur les 70 logements étudiés, 69 utilisent le chauffage contre 31 qui ont la climatisation.

II.3.4.2.3. L'eau chaude sanitaire

L'électricité est de loin l'énergie la plus utilisée pour le chauffage de l'eau (figure II.9). 73% des habitations possèdent un seul ballon d'eau chaude. Quand il y a plusieurs ballons, la plupart des gens utilisent un seul ballon. 61% des gens qui ont un chauffe-eau électrique chauffent l'eau en permanence.

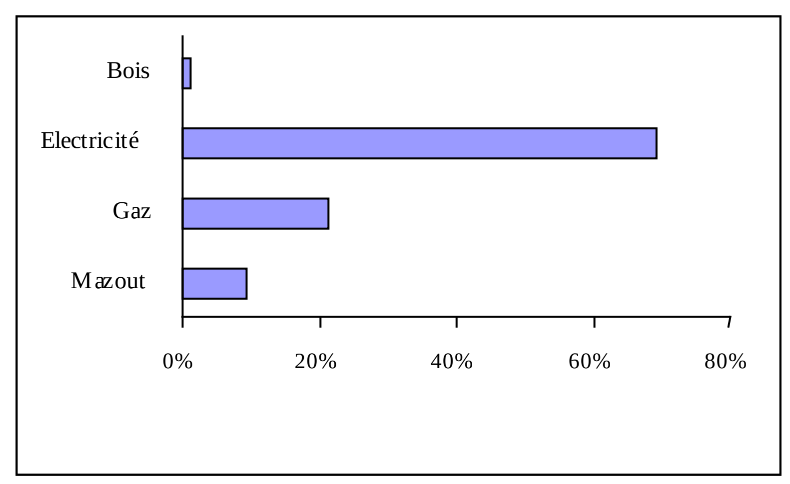


Figure II.9: Energie de chauffage de l'eau

II.4.4.3. La facture énergétique

La facture énergétique devient de plus en plus lourde et les gens se plaignent plus qu'avant. 52.3 % des personnes interrogées trouvent la facture lourde ou très lourde (figure II.10).

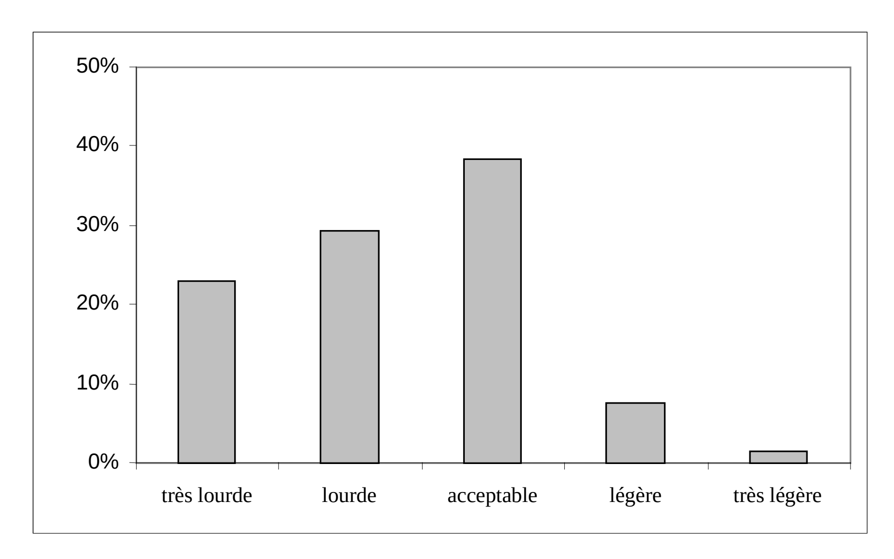


Figure II.10: Appréciation de la facture énergétique

II.3.4.4. Facture ou confort ?

Les gens cherchent un compromis entre leur confort et leur facture : 49% préfèrent baisser la facture en gardant le même confort et 51% préfèrent améliorer le confort en gardant la même facture. Ceci montre bien l'importance des deux facteurs : confort et économie.

II.3.4.5. La méthode de prédiction

C'est la partie du questionnaire qui avait le plus besoin d'explications. Les gens voulaient des informations sur la méthode, les travaux et surtout l'intérêt.

A la question 'si on vous propose une étude des consommations énergétiques de votre logement, puis si on vous donne différentes solutions pour diminuer votre facture énergétique, êtes-vous prêt à payer pour ce service ?' 63 % des cas ont répondu par oui. La question pour la plupart était relative à la garantie de résultats de cette méthode.

Après quelques renseignements donnés sur les conseils et les solutions proposés par l'étude, la moitié des gens étaient capables de chiffrer combien ils étaient prêts à payer pour une telle étude (figure II.11), soit moins de 100 kL pour 54 % des personnes.

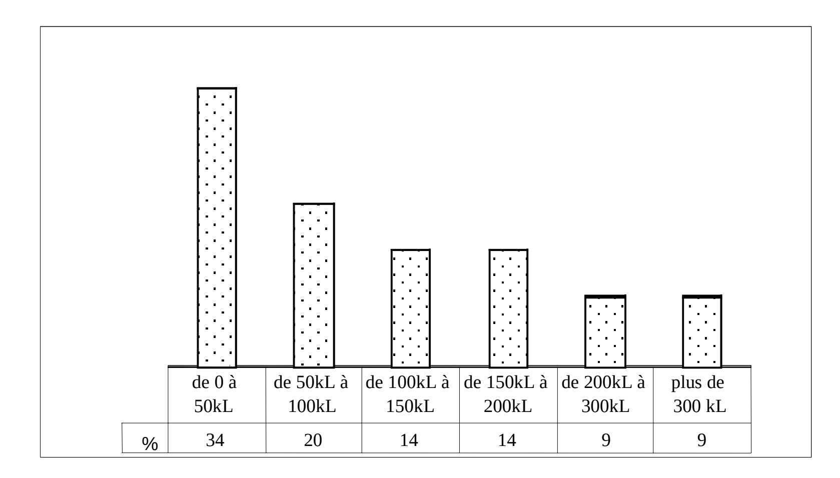


Figure II.11: Prix que les gens sont prêts à payer pour une étude de la consommation de leur logement

En ce qui concerne l'investissement pour réaliser les travaux, après quelques exemples donnés, les gens étaient pour la plupart prêts à réaliser les travaux par étape et selon le coût et la part d'économie réalisée sur la facture énergétique.

II.3.4.6. L'environnement

La dernière question concernait les problèmes de l'environnement. Il ressort qu'après la guerre et avec la reconstruction du pays, les libanais deviennent de plus en plus sensibles aux problèmes de l'environnement, en particulier la pollution sous toutes ses formes (pollution de l'air, de l'eau de mer, de l'eau potable) et l'effet de serre (figure II.12). Le problème des ordures ménagères reste non résolu au Liban et présente un problème majeur pour 64% des gens.

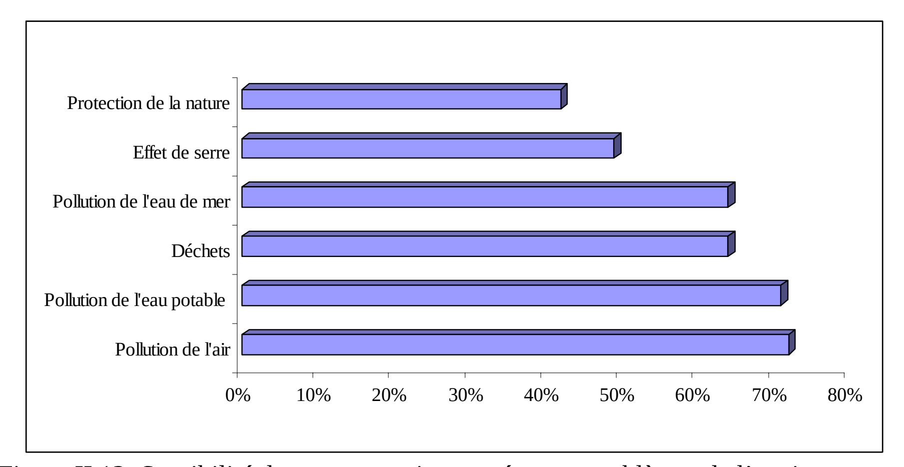


Figure II.12: Sensibilité des personnes interrogées aux problèmes de l'environnement

II.3.5. Conclusion

Cette enquête nous a permis de mettre en évidence les points suivants :

- La construction se caractérise par un inconfort en hiver et en été (dû à des températures et des taux d'humidité élevés) ;
- La facture énergétique devient lourde pour la plupart des ménages ;
- Les systèmes de chauffage utilisés ne sont pas suffisants pour assurer le confort des usagers ;
- Les systèmes de climatisation, quand ils existent, ne sont pas utilisés tout le temps à cause de leur consommation. Ces systèmes sont souvent mal dimensionnés et sont grands consommateurs d'énergie ;
- La production d'eau chaude sanitaire se fait pour la plupart des cas à partir d'un chauffe-eau électrique peu ou mal isolé ;
- Les occupants ont manifesté le besoin d'une assistance technique afin d'améliorer le confort et de réduire la facture énergétique.

II.4. Etude particulière de quatre appartements

II.4.1. Objectifs

Dans cette phase, il s'agit d'une étude de quatre bâtiments représentatifs réalisée pendant l'été 1998. Le but de cette étude était d'obtenir, autre que les informations sur les matériaux de construction, le taux d'équipements et la perception de l'ambiance thermique des logements par les occupants.

II.4.2. Méthodologie

Pour chaque appartement, nous avons établi une fiche comprenant :

- des informations générales sur l'appartement (état, date de construction, etc)
- le plan de l'appartement
- un descriptif des matériaux de construction
- un descriptif des équipements (éclairage et appareils électroménagers) et de leur utilisation
- un descriptif des systèmes de conditionnement d'air et de leur utilisation
- un entretien avec les occupants

- des mesures de température et d'humidité (à l'aide d'un thermohygromètre portable : Vaisala) et d'ensoleillement (à l'aide d'un solarimètre portable : Haeni) réalisées toutes les heures
- un questionnaire sur la sensation thermique des occupants (voir annexe II.c) en même temps que les mesures de température et d'humidité.

En tenant compte des conditions d'enquête, nous avons fixé à une journée la durée des mesures. La présentation des appartements et les résultats des mesures sont donnés dans l'annexe II.c.

II.4.3. Analyse des résultats

- Les mêmes matériaux de construction sont utilisés dans tous les appartements pour les murs extérieurs et intérieurs, le plancher et le plafond. Le vitrage est simple (avec menuiseries aluminium : appartements 1 et 4 , bois : appartements : 2 et 3).
- Concernant le taux d'équipements, certains appareils tels que le réfrigérateur, le lave-linge, la télé, la chaîne hi-fi, la cuisinière à gaz et le fer à repasser sont communs aux quatre appartements. Mais nous notons l'absence d'équipements performants tels que les lampes basse consommation, les réfrigérateurs économes, etc.
- L'éclairage, le réfrigérateur et la télé représentent les usages dominants parmi les équipements électriques, en concordance avec ce qui est confirmé par Cornut [Cornut B., 1999].
- Les occupants ont trouvé l'ambiance plutôt inconfortable à cause des températures et des taux d'humidité élevés ou non maîtrisés. En effet, en été, la température intérieure peut dépasser la température extérieure à certaines heures de la journée et dans certaines pièces. Cela dépend de plusieurs facteurs tels que : l'orientation de la pièce, l'occupation, la surface vitrée, etc (exemple : figure II.13).

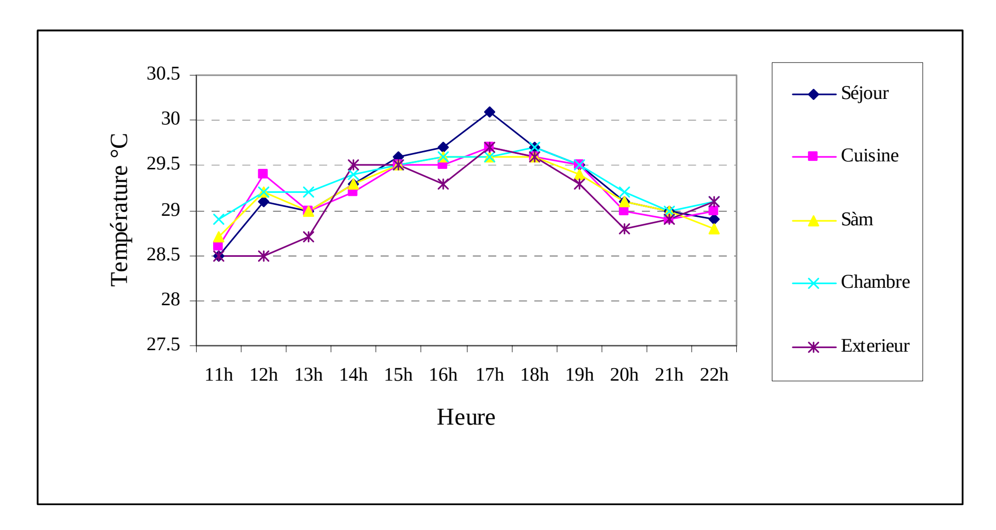


Figure II.13: Exemple de courbes de température dans l'appartement 3 pour une journée en août

L'humidité relative est presque la même à l'intérieur et à l'extérieur pour tous les appartements (exemple : figure II.14). Ceci montre que l'enveloppe ne joue pas suffisamment un rôle modérateur et explique pourquoi les occupants jugent leur ambiance thermique inconfortable.

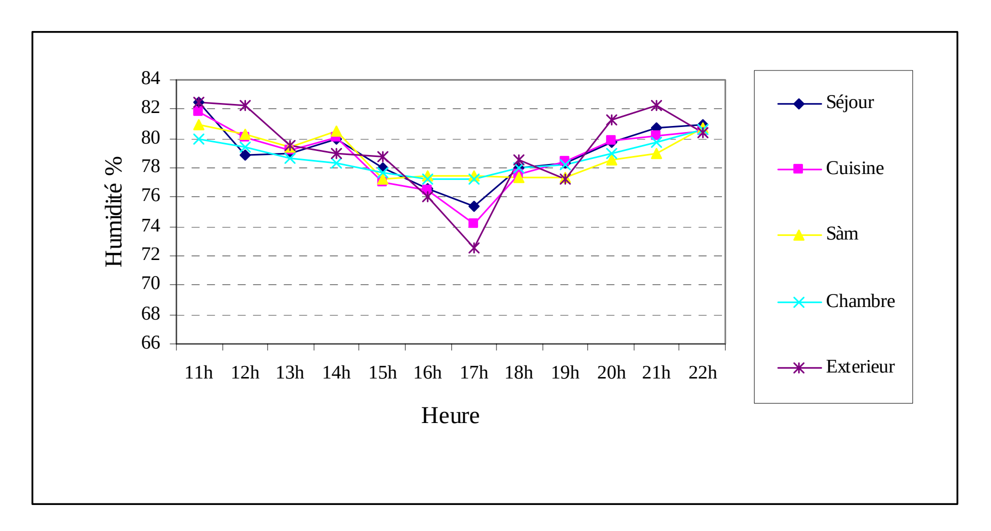


Figure II.14: Exemple de courbes d'humidité dans l'appartement 3 pour une journée en août

II.5. Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre qu'il existe deux types de problèmes responsables de l'augmentation de la consommation énergétique et l'inconfort thermique dans l'habitat : nous les définissons comme problèmes liés à l'architecture et aux matériaux et problèmes liés aux

systèmes et aux équipements. Nous avons par ailleurs exposé les exigences des occupants en matière de confort et de réduction de leur facture énergétique.

Devant cette situation, il paraît important de sensibiliser les usagers aux problèmes de maîtrise de l'énergie et de les informer sur la consommation de leur logement et le potentiel d'économies d'énergie réalisables, ce qui peut se faire par le biais d'une certification énergétique des bâtiments.

Chapitre III

Le contexte et les enjeux de la certification énergétique des bâtiments

III.1. Introduction

Nous expliquons dans ce chapitre le contexte de la certification énergétique dans les bâtiments. En premier lieu, nous définissons la certification et nous faisons l'état de l'art des différentes procédures existantes ainsi que des problèmes liés à leur application. Nous analysons également les modes d'application de la procédure de certification énergétique ainsi que les bénéfices attendus.

Une série de questionnaires montrant l'intérêt des libanais pour une procédure de certification énergétique est exposée au troisième paragraphe. Ceci nous permettra de choisir une procédure adaptée au contexte libanais. Elle est suivie par une analyse des différents problèmes liés au choix d'une procédure (mesures et calcul des consommations).

III.2. Etat de l'art

III.2.1. Qu'est-ce que la certification énergétique des bâtiments ?

Deux principales interprétations du terme « certification » sont possibles. La première sous entend une procédure d'évaluation de la consommation d'énergie d'un bâtiment et son affichage ; la seconde est une reconnaissance, à valeur contractuelle, du niveau de performance énergétique d'un bâtiment et, à ce titre, ne peut être accordée à n'importe quel édifice, à moins que les travaux d'amélioration indiqués dans un rapport de diagnostic ne soient exécutés [Despretz H., 1994].

Dès 1993, en Europe une directive (N.93/76/EEC) stipule que les Etats Membres mettent en œuvre des programmes de certification énergétique des bâtiments, qui consistent en une description de leurs caractéristiques énergétiques et doivent fournir aux candidats utilisateurs des informations sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Quand cela est possible, la certification peut aussi inclure des solutions pour l'amélioration de ces caractéristiques énergétiques [Debeusscher P., 1994].

Cette définition est laissée suffisamment souple pour permettre à chaque pays de l'adapter à son contexte. Les différences d'interprétation et la mise en application sont dues non seulement à des différences de conditions climatiques, mais aussi à une sensibilité différente aux questions environnementales, aux poids et prises de positions des acteurs, aux difficultés

juridiques ou administratives, et, par dessus tout à l'existence d'une volonté politique de passer à la mise en œuvre [Despretz H., 1994].
Cette directive a précisé que la procédure de certification doit concerner le bâtiment, mais elle n'a pas spécifié si elle doit être limitée aux consommations d'énergie de chauffage ou étendue à tous les types de consommation énergétique : est-ce qu'il faut considérer les systèmes de chauffage et d'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les équipements comme une partie du bâtiment ? Est-ce qu'il faut considérer le problème de la durée de vie, qui peut être la même pour le bâtiment et les systèmes mais différente pour l'éclairage et les équipements ? Pour l'instant, c'est l'aspect thermique qui est considéré dans la plupart des méthodes de certification.

La certification, telle que nous la définissons, est plus générale que les méthodes existantes d'analyse de performance énergétique (label, indicateur de performance, rang, audit énergétique). Nous donnons ci-après la différence entre la certification et chacune de ces méthodes :

- le label permet d'afficher une valeur de performance énergétique au bâtiment en considérant des valeurs standards pour l'utilisation de ce bâtiment.
- un indicateur de performance permet de situer la consommation énergétique d'un bâtiment sur une échelle de performance. Dans ce cas, il est aussi nécessaire de disposer d'une procédure de normalisation qui fournit ces indicateurs énergétiques. Cette information est intéressante dans la mesure où la valeur de la consommation d'un bâtiment en elle seule n'est pas trop significative pour les usagers si elle n'est pas accompagnée d'une comparaison avec des bâtiments performants.
- le classement ou 'ranking' sert à vérifier que le bâtiment étudié est plus ou moins performant qu'une référence. Pour que la classification soit valable, il faut que les critères de classement soient bien établis (analyse multicritère souvent nécessaire).
- l'audit énergétique sert à analyser les points faibles du bâtiment et de ses équipements et à donner des propositions d'amélioration suivant des considérations techniques et économique. L'audit demande le déplacement d'une personne sur site. Mis cette méthode reste lourde et ne permet pas de faire la comparaison avec une référence ou avec un autre bâtiment.

III.2.2. Les différentes procédures existantes

Plusieurs procédures de certification existent de par le monde, qu'elles soient obligatoires ou volontaires ; il est fait état ci-après de l'état des lieux, à travers quelques exemples illustrant la diversité des méthodes et des formes d'application.

En Europe, nous notons une implication plus forte des pays du Nord que ceux du Sud où les besoins en climatisation sont importants [Conti F., 1995]. Les pays les plus engagés étant le Danemark, le Royaume Uni et l'Irlande mais sur des bases très différentes :
Les Anglais ont mis au point une procédure qui s'appuie sur un outil SAP (Standard Assessment Procedure) qui évalue la performance énergétique des bâtiments suivant un calcul standard [Henderson G., 2000]. Le SAP a été mis au point par le BRE (Building Research Establishment) à partir du logiciel BREDEM (Building Research Establishment Domestic Energy Model) en capitalisant l'expérience des sociétés ou organisations qui pratiquaient de l'aide à la décision et notamment la NHER (National Home Energy Foundation) qui avait développé le National Home Energy Rating Scheme qui permet d'attribuer une note de 1 à 100 pour la performance énergétique du logement, ramenée à une échelle de 1 à 10 pour une lecture et une présentation plus simple. Le SAP est obligatoire pour les constructions neuves depuis 1995 [Ademe-DBC, 1997].
Le Danemark a mis en place une procédure réglementaire obligatoire [Poulsen Henrik, 2000]. Elle est basée sur une méthode informatisée (EK-pro) de calcul des consommations d'énergie d'un bâtiment et d'identification des opportunités d'économie d'énergie [Groes U., 1994].
En Irlande, le 'Department of the environment and local government' a établi une certification pour les nouvelles maisons mais la démarche reste volontaire [Hendersen G., 2000].

Au Pays-Bas, la certification actuelle des logements a commencé en 1991 [Loncour X., 2000]. Ce système d'évaluation de performance a été développé par Energie Ned (l'organisation nationale des producteurs et distributeurs d'énergie) et NOVEM (l'Agence hollandaise de l'Energie et de l'Environnement) avec le soutien des organisations du logement, des industriels de l'isolation et du centre de recherche du gaz (Gastec). Les propriétaires sont libres de demander un certificat énergétique à leur distributeur d'énergie local. L'audit est réalisé par un consultant du distributeur [Trines R., 1994].
En Allemagne, des labels pour les bâtiments ont été développés et une méthode de certification pour les nouveaux bâtiments a été mise en œuvre en 1995.

En France, les travaux menés concernent surtout l’affichage des consommations d’énergie dans les logements neufs [Bisson E., 1994]. Une méthode de calcul des consommations pour un usage standard devait être finalisée vers fin 2000. C’est une méthode forfaitaire basée sur un calcul non détaillé et un usage standard du bâtiment.

Divers outils d’évaluation pouvant permettre l’affichage des consommations ont été développés ou projetés, sous forme de méthodes manuelles ou logicielles. Elles sont présentées ci-après [Ademe-DBC, 1997] :

- Méthode DELl et DEL2 : conçues pour l’affichage, à la demande de l’Ademe, il s’agit d’un complément à la méthode de calcul réglementaire ThC permettant le passage aux « Dépenses Energétiques des Logements ». Initialement calée sur les trois zones climatiques (d'hiver), DEL a été jugée insuffisamment adaptée à des climats variés, suite à des premières expérimentations. DEL2 y a donc été substituée, pour prendre notamment en compte des données climatiques départementales et une correction d'altitude. Les consommations conventionnelles d'électricité spécifique sont évaluées. Les inconvénients de cette méthode sont: la nécessité de réaliser un calcul complet selon les règles ThC, imposant des saisies nombreuses, son applicabilité au logement neuf exclusivement et son utilisation par les bureaux d’études techniques compétents. Il existe des applications informatiques de cette méthode.
- Méthode de Diagnostic Thermique : Elaborée dans les années 80 pour rendre plus sûr et productif le travail des « diagnostiqueurs », cette méthode concerne essentiellement le bâtiment existant, pour les usages de chauffage et d’eau chaude sanitaire. Un "Guide de Diagnostic Thermique" qui présente cette méthode, dont l'application manuelle est possible mais laborieuse a été publié en 1985 par l'ADEME. La méthode de Diagnostic Thermique D.T. a été utilisée comme "cœur" de plusieurs outils informatiques : MEDIA-MI (maison individuelle), MEDIA-LC (locaux collectifs), utilisables par des Bureaux d'études, ou télématiques "VMSP" (Votre maison- Ses performances), et, partiellement "VASP" (Votre appartement- Ses performances), plutôt destinés à des conseillers, ou des particuliers.
- Méthode CPC : développée dans le cadre des travaux conduisant à la nouvelle étape réglementaire, la méthode est plutôt destinée aux bâtiments tertiaires neufs. Elle s’appuie sur des valeurs de déperditions par les parois déjà disponibles et des scénarios types d’occupation. Elle a été validée, par rapport à des codes de calcul détaillés, sur un cas réel. L'éclairage et les auxiliaires (chauffage et ventilation) sont inclus mais il n'y a rien sur les usages spécifiques (cuisson, froid commercial, force…). Destinée à être mise en œuvre

par des professionnels, elle n'a pas encore fait l'objet de diffusion commerciale d'outils informatiques. Son utilisation manuelle est possible mais très laborieuse.

Les outils doivent être distingués des méthodes qu'ils utilisent : leur domaine d'emploi, leurs entrées-sorties, leur support (informatique ou non) peuvent varier.

Aux Etats-Unis, les méthodes utilisées permettent de donner une note au bâtiment (‘ranking’) pour guider un acheteur ou un locataire vers un choix judicieux en donnant parfois des propositions d’améliorations. Nous citons à titre d’exemple ‘E-Star’ (Energy Star) et ‘Energy gauge’.

En Australie, la méthode appliquée concerne surtout la qualité de l’enveloppe.

Au Canada, l'Office de l'Efficacité Energétique (OEE) des Ressources Naturelles Canadiennes (RNCan) s'appuie sur plusieurs principes de base pour inciter les consommateurs à modifier leur comportement : la réglementation, les encouragements financiers, les mesures volontaires et l'information. L'OEE contribue à l'élaboration de codes nationaux de l'énergie qui précisent des niveaux minimum de rendement thermique pour les maisons neuves. Il est également responsable de l'application de la norme volontaire R-2000 d'efficacité énergétique des maisons neuves.

Le programme RénoSens de RNCan aide les propriétaires à améliorer l'efficacité énergétique de leur maison quand ils entreprennent des rénovations ou dans le cours des travaux d'entretien. EnergGuide fournit une évaluation comparative de la performance énergétique des maisons.

Le programme européen BEL (Building Energy Labelling and energy technologies) propose une méthode de certification basée sur des bases de données simplifiées et normalisées permettant de donner un label de performance énergétique aux bâtiments.

Sans chercher à recenser toutes les procédures existantes, nous donnons dans le tableau III.1. un recueil comprenant quelques informations sur les formes d’application :

Pays	**Année d'implémentation**	**Secteur de bâtiment considéré**	**Energie**	**Outil de calcul**	**Suggestions de mesures d'économie d'énergie**	**Mode d'application**
Danemark	1996	Maisons (existantes)	Chauffage	EK-Pro	Oui	Obligatoire (achat ou vente)
Irlande	1997	Résidentiel (neuf)	Chauffage, eau chaude			Volontaire
Pays-bas	2000	Résidentiel Ecoles (existants)	Chauffage, eau chaude, éclairage, ventilation	EPA	Oui	Volontaire
Royaume-Uni	1993	Résidentiel (neuf + existant)	Chauffage, eau chaude	SAP	Non	Obligatoire dès 19995 pour le neuf et pour la réhabilitation de l'existant
Canada	Depuis 1990	Maisons (neuves) Maisons (existantes)	Chauffage	R-2000 EnerGuide	Oui Oui	Volontaire Volontaire (achat ou vente)
Etats-Unis	1998	Résidentiel	Chauffage, climatisation	Energy gauge	Oui	Volontaire
Colorado	1999	Résidentiel	Chauffage, climatisation, eau chaude	E-star	Oui	Volontaire
Australie		Résidentiel (existant)	enveloppe	First Rate	Oui	Volontaire

Tableau III.1: Exemples de procédures de certification existantes

Ces méthodes sont basées sur des outils permettant, grâce à une saisie allégée et à l'usage de valeurs normalisées, de comparer le bâtiment à des bâtiments de référence ou de lui donner un indice de performance et d'identifier les possibilités d'amélioration. Le comportement des occupants est rarement pris en compte, ce qui empêche de calculer la consommation réelle.

De façon générale, le recours à des données mesurées est rare (sauf par exemple pour le Danemark où la certification nécessite une visite sur site mais la mesure ne concerne que le métrage du bâtiment). Le rapport entre le degré de précision et la qualité des informations

recherchées d'une part et les résultats demandés et le coût de la procédure d'autre part, reste le problème initial dans ce type d'approche.

III.2.3. Les problèmes communs

Dans certains pays, la certification reste à l'état embryonnaire. Nous en analysons ci-après les principales raisons.

- L'aspect thermique est le plus mis en avant (par rapport à l'environnement, le coût ou l'eau) ;
- Toutes les méthodes existantes sont basées sur des calculs destinés à estimer une consommation standard par rapport à l'occupation du logement, à ses équipements et aux conditions climatiques. Mais dans le cas de logement occupé, l'information recherchée par les occupants est différente (répartition de la consommation entre les usages, conduite économique des équipements, etc);
- Certaines formes de certification n'apportent pas de valeur ajoutée au logement et par conséquent, elles n'ont pas d'effet sur le prix de vente donc ne sont pas demandées [Trines R., 1994] ;
- Dans le cas d'une comparaison avec d'autres bâtiments, il faut que l'échantillon de référence soit représentatif, ce qui est difficilement atteint ;
- La certification énergétique des bâtiments est certainement une préoccupation des responsables de la maîtrise de l'énergie, elle l'est probablement beaucoup moins des opérateurs immobiliers, l'énergie n'étant, en l'occurrence, qu'un moyen pour obtenir un confort et le confort ne constituant lui-même qu'un des paramètres pris en compte pour arriver à une décision d'achat ou de location ;
- Pour une partie non négligeable du parc immobilier existant, la peur de voir mises en exergue des caractéristiques énergétiques peu satisfaisantes, pourrait rebuter les candidats-vendeurs. En effet, ceux-ci se verraient contraints, soit de remédier aux défauts constatés, soit d'admettre une moins-valeur pour le bien qu'ils mettent en vente [Debeusscher P., 1994] ;
- Il n'y a pas de volonté politique qui incite ou oblige les usagers à réaliser une certification de leur logement (exception faite du Danemark).

III.2.4. Le certificat énergétique

Le certificat est une fiche livrée à la fin de la phase de certification et permettant de délivrer des informations ou des explications aux usagers en plus de la performance énergétique suivant l'une ou l'autre méthode.

Les informations communes à plusieurs certificats de différents pays (Royaume Uni, Danemark, Autriche, France et Etats-Unis) sont :

- La consommation totale en énergie
- Le coût total des consommations
- Quelques informations concernant le logement
- Les limites ou l'exactitude de la méthode de calcul

Ces informations ne comblent pas toutes les attentes des consommateurs qui recherchent d'autres données jugées plus pertinentes car personnalisées, telles que la variation de la consommation liée à sa conduite ou due au choix des installations et des équipements [SAVE, 2000].

En matière d'informations données dans le certificat, plusieurs types de renseignements sont possibles :

- ceux décrivant le logement et ses installations (superficie, nature et type du système de chauffage, etc),
- ceux relatifs aux énergies consommées : nature, quantités, etc. L'information pouvant être globale ou détaillée par usages,
- la performance énergétique du logement,
- des informations à caractère environnemental (contribution à l'effet de serre en quantité d'équivalent en CO_2 rejetée annuellement, NOx, etc),
- travaux suggérés ou conseillés.

Le choix de l'information à communiquer doit être fonction d'une part des attentes des consommateurs et d'autre part des possibilités de disposer de l'information à l'aide de méthodes de calcul et/ou de mesures.

III.2.5. La définition de la certification énergétique

La certification énergétique, telle que nous la définissons, est une procédure opérationnelle qui permet d’évaluer la consommation énergétique d’un bâtiment pour un usage standardisé ainsi que la performance réelle prenant en compte la conduite énergétique des occupants. Elle donne aux occupants des informations quant à la performance énergétique de leur habitation, de leurs systèmes, quant à la répartition par usage de leur facture énergétique en relation avec leur comportement et propose différentes améliorations afin de réduire leur facture énergétique.

III.2.6. Les formes d’application

III.2.6.1. Mode(s) d’application

Le mode d’application de la certification peut s’organiser sous différentes formes :

- *obligatoire* toutes les années ou seulement lors de la vente ou de la location d’un logement,
- *réglementaire* : l’Etat fixe des exigences auxquelles l’occupant doit répondre à sa charge,
- *volontaire* : l’occupant fait appel par lui même à l’organisme chargé de la procédure,
- *incitative* : l’occupant est incité à agir par des contreparties financières (subventions ou réduction d’impôt).

III.2.6.2. Les acteurs concernés

Nous pouvons diviser en trois groupes les acteurs concernés :

- Les offreurs, qui mettent un logement en vente ou en location,
- Les demandeurs, qui cherchent à acheter ou à louer,
- Les occupants, qui cherchent à réduire la facture énergétique de leur logement.

III.2.6.3. Champs d’application

Nous distinguons les logements occupés et les logements non occupés.

III.2.6.3.1. Location ou vente d'un logement

L'objectif recherché est d'informer les futurs acquéreurs ou locataires de logements sur les consommations et les dépenses d'énergie conventionnelles de ces logements [Bisson E., 1994]. Les consommateurs auraient ainsi la possibilité de comparer sur le plan énergétique et économique des logements de conception différente, et notamment des logements n'utilisant pas les mêmes modes de chauffage ou les mêmes énergies. Ces informations seraient fournies aux consommateurs sous forme d'une fiche d'information par logement conforme à un modèle défini. Ceci permettrait aux consommateurs de prévoir les dépenses énergétiques de leur futur logement afin de mieux les budgétiser.

L'inconvénient est qu'on ne peut toucher qu'un faible pourcentage des habitations. Mais l'avantage est qu'on peut relativement bien contrôler l'application de la certification.

III.2.6.3.2. Réhabilitation ou certification pour un logement occupé

Dans le cas d'un logement occupé, l'intérêt de la certification est d'informer les usagers sur:

- la performance de leur habitat et de leurs équipements et sur leur comportement
- les choix leur permettant de réduire leur facture d'énergie

Le problème réside dans le moyen d'inciter les occupants déjà installés surtout s'il est nécessaire d'instrumenter les appareils.

III.2.6.4. Bénéfices attendus

Cette certification énergétique pourra alors servir à :

- rendre les occupants conscients de leur consommation d'énergie, de combien elle leur coûte, et ce qu'elle coûte à l'environnement ;
- mettre en place des réglementations thermiques et énergétiques pour les logements neufs et pour la réhabilitation des logements existants ;
- modifier la demande des usagers ;
- inciter à améliorer la qualité énergétique des logements neufs et à la réhabilitation des logements existants ;
- améliorer le confort et réduire le coût d'exploitation des bâtiments ;
- offrir davantage d'occasions d'utiliser des techniques et des produits nouveaux et innovateurs. Elle encourage les promoteurs et les concepteurs à envisager des solutions de

remplacement en vue de limiter les coûts de la construction tout en améliorant l'efficacité énergétique ;

- offrir des débouchés pour les nouveaux produits et les nouvelles technologies, ce qui crée en retour de nouveaux emplois et favorise l'essor économique du pays [CMNEB] ;
- promouvoir des systèmes et des équipements performants, des enveloppes isolées et de l'architecture bioclimatique [Ademe-DBC, 1997] ;
- prendre conscience des enjeux économiques, social et environnemental liés aux dépenses énergétiques et donc inciter à comparer différentes solutions lors d'une réhabilitation ou de tout type de transaction immobilière ;
- servir comme un instrument de politique énergétique locale ou régionale quand elle est appliquée aux plus importantes catégories de bâtiments [Despretz H., 1994].

III.3. Enquête d'opinion relative à l'intérêt des libanais pour la certification énergétique

Nous avons effectué une série de questionnaires au Liban pendant l'hiver 2000 auprès des occupants afin de déterminer :

- l'intérêt porté aux questions énergétiques,
- leur intérêt pour la procédure proposée,
- leurs souhaits quant aux informations affichées sur le certificat énergétique,
- leurs préférences en matière d'application.

III.3.1. Elaboration du questionnaire

Le questionnaire est formé de 5 parties (voir annexe III.a):

1) Identification de l'habitation: dans cette partie, nous essayons d'avoir des informations concernant la localité, le type d'habitation et le statut d'occupation ainsi que les énergies utilisées pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Ceci nous permettra de voir la relation entre ces paramètres et l'intérêt pour la certification.

2) Intérêt global : ces questions sont utilisées afin d'apprécier l'intérêt de la personne interrogée pour la consommation énergétique de son logement et son souhait d'avoir des informations plus détaillées sur le sujet.

3) Evaluation des informations souhaitées: les questions ont pour but de connaître l'importance des informations pouvant figurer dans le certificat, telles que :

- la consommation globale d'énergie
- les consommations d'énergie par usages
- les performances des équipements électroménagers et de l'éclairage
- les caractéristiques techniques de l'habitation

4) Informations liées aux possibilités d'améliorations : il s'agit de vérifier la faisabilité de la phase d'analyse et de mesures sur site. On demande aux personnes leur avis concernant l'idée de la certification énergétique telle qu'elle leur a été présentée, le prix qu'ils sont prêts à payer pour un tel service ainsi que le type d'amélioration qui leur semble le plus envisageable (amélioration de l'enveloppe, remplacement d'appareils électroménagers, amélioration des systèmes et changement des habitudes).

5) Identification de la personne interrogée: des questions traditionnelles sur l'âge et la profession des personnes. Ces questions servent à savoir s'il y a des différences entre les réponses ou si les résultats peuvent être étendus à tout l'échantillon.

III.3.2. Echantillon

Soixante dix personnes ont été interrogées. L'âge des sujets allait de 25 à 75 ans. La majorité des personnes interrogées avaient une activité socio-professionnelle (figure III.1). Les personnes interrogées étaient à 76% propriétaires de leur habitation contre 23% locataires. L'échantillon comprend 86% d'appartements et 14% de maisons. Nous avons essayé également de respecter la répartition géographique (voir annexe III.a).

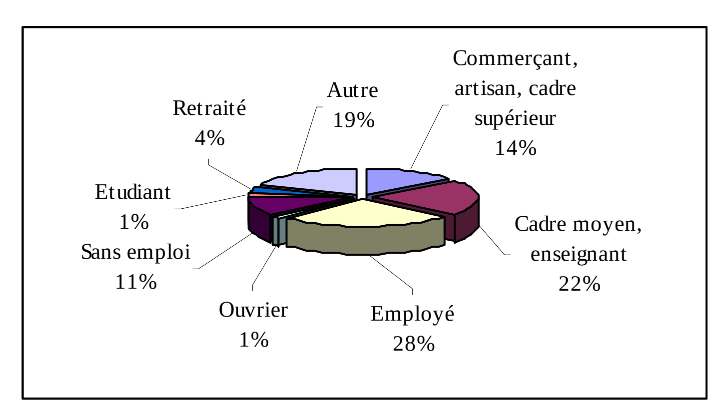


Figure III.1: Répartition des activités professionnelles de l'échantillon

III.3.3. Principaux résultats

Cette enquête a montré que la majorité des personnes interrogées (97%) arrivent à estimer leur facture globale d'énergie, ce qui montre l'importance du poste énergie dans la dépense des ménages, à la différence de ce que l'on observe en Europe. La même question a été posée en France et en Espagne dans une enquête réalisée dans le cadre du contrat SAVE. Cette enquête a montré qu'en Espagne 81% des personnes interrogées ne sont pas capables d'estimer leur consommation énergétique, contre 52% en France.

L'enquête a également montré que 77% souhaitent que la consommation de leur habitation soit comparée aux consommations des habitations similaires. D'autre part, 83% sont demandeurs d'une information détaillée sur leurs dépenses d'énergie et leurs consommations. Ces résultats ne sont pas liés à la profession de la personne interrogée ou au statut d'occupation du logement mais plutôt aux énergies utilisées pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (surtout dans les cas où l'électricité est l'énergie principale).

Quant au principe consistant à fournir un « certificat énergétique » pour informer les occupants sur leur consommation, 86% ont donné une réponse de 'très bien' ou 'bien'.

Les informations suivantes (classées par ordre décroissant) sont jugées 'très utiles' ou 'plutôt utiles' dans la certification par environ 80% de personnes interrogées :

1. la consommation d'énergie par usage
2. les caractéristiques de l'enveloppe
3. la performance des équipements
4. la consommation globale en énergie

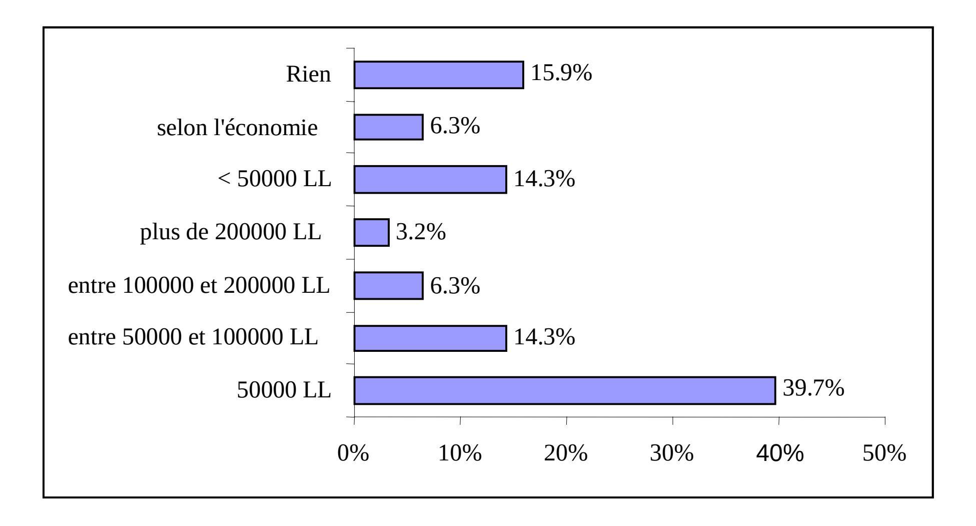


Figure III.2: Combien les libanais sont-ils prêts à payer pour une certification énergétique

Le problème réside dans le fait que si 84% sont d'accord pour recevoir un expert en énergie pour qu'il collecte les informations nécessaires à l'établissement du certificat, le prix qu'ils sont prêts à payer ne pourra, dans la plupart des cas, couvrir les frais d'un tel service (figure III.2-). Le changement des habitudes et l'amélioration de l'enveloppe sont les deux types d'amélioration les plus envisageables avec 47% et 29% respectivement.

Cette enquête confirme les résultats de la première enquête présentée au chapitre 1 en terme de besoins des occupants d'une information sur la consommation énergétique de leur logement. Elle montre également la demande d'une information détaillée et d'une assistance technique quant aux améliorations à faire et prouve ainsi l'intérêt des libanais pour une procédure de certification telle que nous l'avons définie. Elle souligne également :

- le manque de transparence observé sur les factures énergétiques
- l'importance de l'information des usagers : les gens sont parfaitement concernés par le sujet dès lors qu'on leur fournit un minimum d'information.

Au Liban, une application volontaire dans un premier temps serait la plus facile à envisager, d'autant plus que le confort des habitants est un vecteur potentiel de réhabilitation des bâtiments. Ceci nécessite de soigner particulièrement la convivialité de la procédure et la qualité des informations obtenues en retour tout en respectant un coût faible. Des mesures incitatives ou réglementaires pourraient être appliquées mais un tel mode d'application dépend des pouvoirs publics et des autres acteurs liés à l'application de la certification présentés au chapitre VII. C'est là que nous trouvons l'intérêt d'un système de prêt à taux réduit pour réaliser les travaux comme celui utilisé par l'ALMEE pour le projet pilote de construction performante à Zouk à partir d'un Fonds d'Efficacité Energétique.

La certification peut être effectuée par des agents ayant suivi une formation. Ces agents peuvent faire partie du secteur public ou privé selon le mode d'application de la certification. Ils doivent être formés et agrémentés si la certification est réglementaire.

III.4. Choix d'une procédure de certification énergétique

L'objectif notre travail est de développer une procédure de certification énergétique des bâtiments, qui devra prendre en compte les problèmes évoqués précédemment et être capable de calculer, autre que la consommation standard d'énergie de chauffage et d'eau chaude sanitaire, une consommation réelle ou d'usage basée sur le comportement des occupants. Cette procédure devra à la fin fournir une liste d'améliorations énergétiques.

Ce travail s'insère dans le cadre d'un projet européen SAVE. Ce projet, coordonné par notre laboratoire, comprend quatre autres organismes européens (ADEME – France, SEBRA – Danemark, Ciemat – Espagne et l'Ecole des Mines de Paris). Outre le développement de l'outil de calcul, nous avons contribué à l'élaboration des différentes phases de la procédure et nous l'avons ensuite appliquée au contexte libanais.

III.4.1. Vers une procédure simplifiée ou détaillée ?

La phase de développement de la procédure suppose de choisir les méthodes de calcul ainsi que les entrées et sorties nécessaires et suffisantes.
Pour les méthodes de calcul, il existe plusieurs algorithmes simplifiés qui peuvent être adaptés et utilisés. Quant aux entrées, un compromis doit être effectué entre la quantité d'information nécessaire au calcul et le niveau de détail de cette information par rapport à la précision souhaitée de ce calcul. Des valeurs par défaut pourront être proposées pour combler un manque d'information indispensable au calcul [SAVE, 1997] mais de faible sensibilité sur le résultat.

En effet, le calcul des consommations d'énergie demande un grand nombre d'informations relatives à la fabrication du bâtiment, au climat intérieur et extérieur, aux activités des occupants, aux systèmes de ventilation, de chauffage et d'eau chaude sanitaire et éventuellement aux appareils électroménagers.
Si le calcul d'une consommation standard simplifie relativement les entrées de calcul par l'utilisation de valeurs conventionnelles, il n'est pas de même pour la consommation réelle ou d'usage des logements occupés pour laquelle le comportement des occupants influe de façon considérable sur les besoins énergétiques (voir IV.2). Ces données ne sont pas facilement accessibles et peuvent nécessiter des mesures sur site (voir IV.3).

III.4.2. Principes de calcul des consommations dans un bâtiment

Le bâtiment consomme de l'énergie pour le conditionnement de l'environnement intérieur, le chauffage de l'eau chaude sanitaire et pour le fonctionnement des appareils électroménagers et de l'éclairage.

III.4.2.1. Calcul de la consommation de chauffage

Nous distinguons trois approches pour le calcul des consommations de chauffage:

- Approche prédictive basée sur une simulation de la consommation d'un bâtiment. Le résultat dépend du modèle utilisé et de la qualité des données fournies à l'outil. L'évaluation des pertes réelles des systèmes de chauffage est un des points critiques de cette méthode.
- Approche empirique basée sur les factures énergétiques pour les bâtiments déjà occupés. La normalisation se fait par rapport à la température extérieure ou au degré-jour et la surface chauffée le plus souvent. Cette approche n'offre que peu de garanties car elle est basée sur les factures qui ne sont pas toujours disponibles et dont les valeurs dépendent du comportement des occupants et pas seulement des caractéristiques du bâtiment.
- Approche expérimentale basée sur des mesures : cette approche nécessite de mettre en place des mesures in situ pour recueillir des informations sur le comportement thermique du bâtiment. Une analyse statistique de ces données permet de calculer certaines des caractéristiques globales comme le coefficient de déperdition thermique. C'est une méthode assez prometteuse mais qui a encore besoin de développement pour qu'elle puisse être appliquée pour des courtes périodes de mesures (moins d'un mois) [Despretz H., 1994][HELP, 1997].

La plupart des méthodes de certification européennes sont basées sur des outils de calcul établissant le bilan énergétique en régime permanent du bâtiment pour le calcul des besoins en chauffage Q_h.

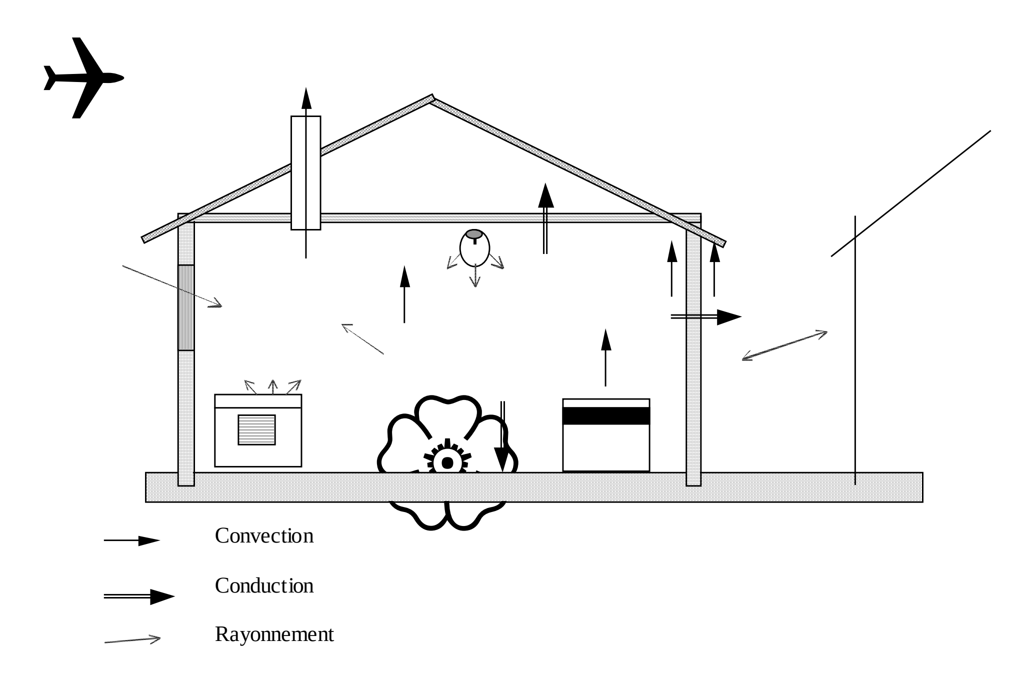


Figure III.3: Echanges thermiques au sein d'un bâtiment

$$Q_h = Q_l - \eta\, Q_g \qquad \text{(Equation III.1)}$$

Où

Q_l représente les déperditions (kWh)

Q_g représente les apports de chaleur « gratuits » (soleil, occupants, appareils domestiques, etc) (kWh)

η est le taux d'utilisation des apports gratuits (tenant compte de l'inertie du bâtiment et de la simultanéité des apports par rapport aux déperditions)

L'hypothèse de régime permanent est jugée satisfaisante dans la mesure où la température intérieure varie peu, restant maintenue à une température de consigne conforme au confort de l'occupant. En cas d'intermittence de chauffage, des calculs pseudo-dynamiques peuvent être proposés.

La consommation totale d'énergie de chauffage Q est calculée à partir des différentes pertes du système (génération, distribution, émission et contrôle) par leurs efficacités respectives η_g , η_d, η_e et η_c [Norme européenne, 1993] :

$$Q = \frac{Q_h}{\eta_g \eta_d \eta_e \eta_c} \qquad \text{(Equation III.2)}$$

Compte tenu du contexte de notre travail (projet européen, calcul des besoins en chauffage, etc), nous ne traitons pas les systèmes de climatisation. Nous nous contentons de discuter du confort d'été pour les bâtiments au Liban.

III.4.2.2. Calcul de la consommation pour l'eau chaude sanitaire

La consommation d'énergie pour l'eau chaude sanitaire est d'habitude calculée à partir des besoins en énergie nécessaires pour fournir l'eau chaude au point de puisage divisés par le rendement du système d'ECS. Pour les besoins, certaines méthodes utilisent des valeurs basées sur des études statistiques et qui dépendent du nombre d'occupants et de la surface de la zone chauffée [SAVE, 2000]. Ces valeurs suffisent pour un calcul standard mais pour la consommation réelle et les améliorations, nous devons considérer la température d'eau comme un paramètre à analyser.

III.4.2.3. Calcul de la consommation des appareils domestiques

Pour le calcul des consommations des appareils domestiques, sont utilisées:

- Des méthodes basées sur un calcul approché: la consommation annuelle est fonction de la surface du logement, du nombre d'occupants, du niveau d'équipement et du climat. Plusieurs formules de calcul existent en Europe, nous citons à titre d'exemple la méthode DEL pour la France pour laquelle la consommation d'électricité en kWh est calculée en multipliant la surface habitée S en m² par 31. La méthode danoise EK-pro calcule les consommations d'électricité par rapport à la surface habitée des appartements des maisons (tableau III.2.). Ces méthodes peuvent servir pour un calcul standard mais ne permettent pas d'avoir les économies d'énergie réalisables. Dans sa campagne de mesures sur les usages électriques spécifiques du secteur résidentiel, Sidler [1997] donne une explication aux écarts importants entre les consommations normalisées et les consommations réelles. Ces écarts trouvent leur explication essentiellement dans les conditions effectives d'utilisation, les comportements individuels et le vieillissement des équipements.

Surface habitée/Consommation d'électricité	Appartements	Maisons
S (m²)	kWh/an	kWh/an
S < 60	1600	3300
60 ≤S≤140	300+23×S	2650+12×S
140 ≤S	3600	4400

Tableau III.2: Les valeurs danoises de la consommation d'électricité dans les bâtiments

- Des méthodes basées sur l'analyse de la consommation individuelle moyennant une instrumentation des appareils domestiques.
- Des méthodes utilisant des bases de données : quand le comportement des occupants peut être connu, il est possible d'évaluer la consommation d'énergie des appareils électriques dans un logement à partir des bases de données (fournies par les associations de fabricants, les études du marché, etc). Mais il est difficile de disposer de bases de données complètes et systématiquement mises à jour.
- Des méthodes basées sur des formules de calcul prenant en compte les consommations unitaires (par cycle pour la machine à laver, par 24h pour le réfrigérateur, etc) ainsi que le type et la durée de l'utilisation. Deux facteurs de correction de la consommation peuvent être utilisés : le premier prend en compte l'âge de l'appareil et le second exprime l'effet du climat ou de la saison sur le type et la durée d'utilisation des appareils.

III.4.2.4. Calcul des apports internes

La quantité d'apports internes récupérée à l'intérieur d'un bâtiment est communément prise en compte de manière forfaitaire lors des études thermiques de bâtiment. Mais à l'heure actuelle, les objectifs d'une meilleure maîtrise de l'énergie dans l'habitat (performance accrue des appareils domestiques, méthodes de dimensionnement plus précises,…) ou la certification des consommations électriques des bâtiments incitent à affiner ce calcul (voir chapitre IV).

III.5. Conclusion

Ce chapitre a montré l'existence de différentes interprétations du terme certification énergétique. Les méthodes existantes proposent de baser l'évaluation des performances sur un calcul standard de la consommation d'un bâtiment en fixant des conditions normalisées pour le climat et l'usage. Parfois une liste d'améliorations propres au bâtiment et à ses systèmes est

proposée. Ces méthodes ne correspondent pas tout à fait aux souhaits donnés par les utilisateurs, davantage préoccupés par leur facture énergétique, répartie par usage, et basée sur des informations réelles.

Développer une procédure de certification et l'appliquer au Liban fait ressortir plusieurs défis. Nous le constatons par le gros effort qui reste à faire dans le domaine thermique et énergétique et par les différentes questions liées à la certification : champs d'application, formes ? Mais l'intérêt des libanais pour une procédure telle que la certification énergétique montre l'importance de notre approche.
Dans la suite, nous détaillons les différentes phases de la procédure développée notamment la prise en compte du comportement des occupants et les bases théoriques des différents calculs.

Chapitre IV

La prise en compte du comportement des occupants pour le calcul d'une consommation « réelle »

IV.1. Introduction

Nous définissons dans ce chapitre les différentes données liées au comportement des occupants susceptibles d'intervenir dans le calcul d'une consommation réelle ou d'usage et nous soulignons à ce stade l'importance des mesures.

Nous analysons ensuite les diverses méthodes existantes de calcul des apports internes de chaleur et de leur récupération dans l'objectif d'une meilleure prise en compte dans le calcul de la consommation réelle dans EC-Pro. Nous réalisons également une étude de sensibilité des différents paramètres influençant ces gains.

IV.2. Définition du comportement des occupants

Nous avons souligné dans le chapitre précédent l'intérêt des occupants pour une information personnalisée, permettant d'expliquer par exemple, pourquoi les occupants de deux maisons identiques peuvent avoir des factures énergétiques différentes et nous avons proposé le calcul d'une consommation réelle tenant en compte le comportement des occupants.

Les données d'occupation comprennent :

- le nombre d'occupants et la durée de leur présence dans les locaux,
- le nombre et le type des appareils domestiques et de l'éclairage et le scénario de leur utilisation,
- l'utilisation de l'eau chaude sanitaire et du chauffage

Elles servent à calculer :

- la consommation électrique des appareils domestiques et de l'éclairage,
- la température intérieure,
- les besoins en eau chaude sanitaire.

IV.2.1. Importance des mesures

Les mesures servent à améliorer l'information nécessaire aux estimations du comportement des occupants et donc la qualité du calcul de la consommation réelle par l'obtention de la température intérieure de consigne et ses variations, le taux de renouvellement d'air, la consommation électrique des appareils, la durée d'utilisation des appareils et de l'éclairage, etc.

Compte tenu du contexte de la certification proposée (mesure sur site, coût faible, présence d'occupants), il s'avère particulièrement important de rechercher parmi les appareils de mesure ceux correspondant aux besoins de la procédure sur la base des critères de :

- coût
- qualité des informations recueillies
- simplicité et rapidité de mise en œuvre
- exploitation et traitement des données (voir V.3)

D'autres données telles que l'ouverture des fenêtres et des portes et l'utilisation des volets peuvent servir à calculer respectivement le taux de renouvellement d'air et la quantité des apports solaires, mais à ce stade nous ne disposons pas encore de moyens satisfaisants pour les inclure en dépit de leur importance.

Il est probable par conséquent que la mesure du taux de renouvellement d'air en particulier ne puisse pas se faire dans le cadre d'une certification. Il pourra être remplacé par la mesure d'étanchéité, des ouvertures des fenêtres ou par le débit de ventilation dans le cas d'une ventilation mécanique.

Les données d'occupation peuvent être également utilisées pour une évaluation plus précise des gains internes. Ces gains représentent une composante essentielle du bilan thermique d'un bâtiment et peuvent contribuer à l'élévation de la température intérieure du bâtiment et influencer ainsi les besoins en chauffage et en climatisation.

IV.3. Etude des apports internes

IV.3.1. Quantification des sources

Les apports internes, Q_i, comprennent toute quantité de chaleur générée dans l'espace chauffé par des sources internes autres que le système de chauffage telles que les occupants, l'éclairage, le fonctionnement de certains appareils électriques qui transforment une partie de l'électricité consommée en chaleur par effet Joule, et les pertes calorifiques internes du système de chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire [Adra N., 2000].

Il apparaît donc qu'une part importante de ces apports est en fait d'origine non 'gratuite' [Techniques de l'ingénieur, 1998].

Ils prennent la forme d'un dégagement de chaleur sensible et latente. Les sources dissipent cette énergie de manière radiative et convective dans des proportions variables selon leur

origine. Le gain de chaleur par rayonnement est partiellement absorbé par les parois et les objets environnants, et n'affecte l'air de la pièce par conséquent qu'après un certain temps [ASHRAE Fundamentals, 1997]. La part convective du gain de chaleur est transmise directement à l'air de la pièce par convection naturelle ou forcée sans retard.

IV.3.2. Les méthodes de calcul

Pour pouvoir calculer précisément les gains internes, il faut donc connaître la part de chaleur sensible et latente provenant de chacune des sources ainsi que la part radiative et convective, et enfin l'aptitude du bâtiment à récupérer ces apports pour le chauffage des locaux.
La plupart des méthodes de calcul des besoins en chauffage se contentent de valeurs globales. Par exemple, dans les calculs réglementaires, le CSTB évalue ces apports à 100 Wh par jour et m² de surface habitable [Techniques de l'ingénieur, 1998].
Dans le LESOSAI4 [Institut technique du bâtiment, 1996], ils sont donnés relativement à la surface brute de plancher, qui est la surface de l'ensemble des planchers (à chaque étage) des locaux chauffés avec un facteur de pondération égal au rapport hauteur brute d'étage/3 m. La chaleur totale dégagée est égale à la somme de la part de la consommation d'électricité transformée en chaleur (70% pour les conditions normales d'utilisation) et la part dégagée par les occupants. Par exemple, pour un bâtiment ayant une surface brute de plancher égale à 600 m² et une période de chauffe de 219 jours, pour une hauteur d'étage de 3 m, les gains internes s'élèvent à :

- Apport des installations électriques, avec 22.2 kWh/m² de consommation annuelle en électricité : $22.2 \times 0.7 \times 219/365 = 9.3$ kWh/m²
- Chaleur dégagée par 30 personnes (80 W/personne) présentes 8 heures/jours: $30 \times 80 \times 8 \times 219 = 7$ kWh/m²

La norme européenne propose une valeur de 5 W/m². On considère à titre d'exemple un logement de 250 m² ayant un coefficient de déperdition superficiel de 1 W/m²°C. Le coefficient de déperdition est alors de 250 W/°C, et avec une saison de chauffe de 242 jours, les déperditions sont d'environ 12000 kWh/an. Les gains internes sont calculés par: 5 W/m² × 100 m² × 24 h × 242 jours = 2904kWh, soit 24% des déperditions du logement. Lorsque le bâtiment est davantage isolé, ce pourcentage peut augmenter très vite.
Un recueil des valeurs utilisées par différentes méthodes est donné dans le tableau IV.2.

Source	Valeur
CSTB [Th-BV, 1988]	100 Wh par jour et m² de surface habitable
CSTB [ThC, 2000]	4 W/m²
Norme européenne*	5 W/m²
Modèle 5000**	0.13 kWh/m² et par jour
Agence Danoise de l'énergie***	0.12 kWh/m² par jour
LESOSAI4	70% de la consommation d'électricité + gains dus aux occupants

Tableau IV.2: les différentes valeurs des apports internes utilisées par les méthodes de calcul

*[Comité européen de normalisation (CEN), 1998]
**[Claux R. Franca J.P. et col., 1982]
***[Agence danoise de l'énergie, 1999]

A part la méthode LESOSAI4, ces calculs ne tiennent pas compte des différences de comportement. Le chiffre de 70 % de consommation électrique mérite d'être analysé plus en détail. Pour faire un calcul détaillé d'apports internes, nous avons donc recherché dans la bibliographie des études théoriques mettant en évidence ces apports.

IV.3.2.1. Gains dus aux occupants

Un ensemble de mécanismes complexes permettent à l'homme de maintenir sa température interne à une valeur voisine de 37°C, malgré les fluctuations des paramètres d'ambiance. Le corps humain est en échange permanent avec son ambiance. Ces échanges interviennent par cinq modes différents (convection, rayonnement, évaporation cutanée, conduction, et respiration) et sont compensés par une production de chaleur interne appelée métabolisme. Une partie de la chaleur produite sous forme métabolique est toutefois directement consommée sous forme de travail externe [Bruant M., 1997].
De nombreuses études sur les échanges thermiques du corps humain ont été réalisées, mais les valeurs obtenues sont souvent disparates. Ces écarts peuvent s'expliquer par des disparités interindividuelles et par les conditions expérimentales retenues [Marret D., 1981].

Les gains provenant des occupants sont calculés comme suit [ASHRAE Fundamentals, 1997] :

$$Q_{i\ occupants} = N \times (gain\ en\ chaleur\ sensible + gain\ en\ chaleur\ latente) \qquad \text{(Equation IV.1)}$$

N étant le nombre d'occupants
Les proportions de chaleur sensible et latente émises par le corps humain proposées dans la littérature sont données dans le tableau IV.3.

Source	Gain en chaleur sensible W	Gain en chaleur totale W	% Gain pour un enfant	% Gain pour un adulte
ASHRAE + TRNSYS	67	140	75 %	85 %
Techniques de l'ingénieur		132		
Méthode 5000	80		62.5 %	100 %
LESOSAI 4	80			
Manuel ESP*	95 (assis, rest.+bur.)	140		
Modèle Danois	73			
CIBSE**			85%	85%
Recknagel*** (Température =18°C)	98	121		
Dehausse**** (assis au repos)	86	114		

Tableau IV.3: Les proportions de chaleur sensible et latente émises par le corps humain

*[ESP, 1993]
** [CISBE, 1986]
***[Recknagel, 1995]
****[Dehausse R., 1988]

Rapportées à la chaleur totale évacuée, la partie de chaleur sensible émise par convection et rayonnement et la partie de chaleur latente dispersée par évaporation sont soumises à d'importantes fluctuations. La partie de chaleur sensible diminue quand la température d'ambiance s'élève puisque les pertes de chaleur totale restent pratiquement constantes. Le rapport des pertes sensibles par convection et rayonnement est cependant variable. La part de chaleur sensible qui revient à la convection peut atteindre 40 à 60% suivant les conditions de température de l'air, des parois et les mouvements d'air ambiant, la part revenant au rayonnement variant donc de 60 à 40%. En moyenne ces deux pertes de chaleur sont égales, bien que la différence puisse être parfois importante [Recknagel, 1995].

Nous donnons dans le tableau IV.4 quelques valeurs proposées dans la littérature pour le rapport des gains en chaleur par rayonnement et par convection.

Source	% Chaleur par rayonnement	% Chaleur par convection*
Ashrae 1993	33	67
ESP	20	80
Recknagel (moyenne 18°C-26°C)	32.3	67.7
Recknagel (moyenne 16°C-26°C)	34.4	66.6

Tableau IV.4: Pourcentage de gain en chaleur par rayonnement et convection par rapport au gain total de chaleur

* La chaleur latente est prise en compte dans le pourcentage du gain de chaleur par convection.

IV.3.2.2. Gains provenant des appareils électriques

Pour les appareils électriques, il n'existe pas de méthode de calcul universelle qui puisse être appliquée pour calculer les apports, ni la répartition sensible / latente de cette chaleur.

Des études en laboratoire ou in situ ont permis d'établir quelques valeurs, mais la plupart de ces valeurs concernent les appareils utilisés dans les restaurants, les laboratoires, les hôpitaux et les bureaux.

Hosni et al. [Hosni M., 1998] ont proposé d'utiliser un radiomètre scanneur pour mesurer la part radiante de la chaleur provenant des équipements des bureaux. Mais cette méthode dépend des conditions expérimentales (température de la pièce, mouvement de l'air, température des parois, variation de la température de la pièce, le choix de la position et du nombre des points de mesure, etc) et ne donne pas le total des gains internes provenant de ces appareils.
Wilkins et al. (1991) ont mesuré la chaleur générée par les équipements des bureaux et ont comparé ces valeurs aux puissances données par le fabricant. McGraffin (1994) a présenté des données supplémentaires concernant les ordinateurs, les moniteurs et les imprimantes.
ASHRAE 1993 Handbook – Fundamentals donne des recommandations pour le calcul des gains de chaleur provenant des équipements de bureaux, et qui sont différents de la puissance nominale électrique de ces appareils.
Toutes ces études ont montré qu'il faut appliquer un facteur d'usage à la puissance donnée par le fabricant pour tenir compte des discontinuités de fonctionnement des composants électriques. Ce facteur varie entre 0.3 et 0.79. La valeur généralement utilisée est égale à 0.5 surtout pour les équipements dont le cycle nécessite le maintien d'une température constante. Une étude réalisée par Alereza et al. en 1979 permet de donner un facteur d'usage de 0.4 pour les réfrigérateurs et les congélateurs. Pour les autres cas, une valeur de 1.0 est utilisée.

En se basant sur les études antérieures et sur ASHRAE, Alereza et al. [1984] proposent que le calcul de ces apports soit fait à partir de la puissance nominale de l'appareil. Le gain de chaleur Q_i est calculé par la formule :

$$Q_{i\,(sensible)} = q_r \times F_R \times F_U \qquad \text{(Equation IV.2)}$$

Ou pour les appareils non couverts :

$$Q_{i\,(sensible\,+\,latente)} = q_r \times F_U \qquad \text{(Equation IV.3)}$$

où

q_r est la puissance nominale égale au maximum d'énergie utilisée par un appareil. Elle est donnée dans les spécifications de l'appareil

F_R est un facteur de rayonnement égal au rapport entre le maximum de gain de chaleur sous forme radiante et la puissance d'opération pour un appareil couvert

F_U est un facteur d'usage défini comme le rapport entre la puissance d'opération et la puissance nominale fournie par le fabricant

Il est important de faire la différence entre facteur d'usage et facteur d'utilisation :

- Le facteur d'usage est basé sur le fait que même quand un appareil est utilisé pendant une heure entière, la puissance d'opération ou de fonctionnement n'est pas nécessairement égale à la puissance nominale.
- Le facteur d'utilisation correspond au temps de fonctionnement, calculé comme le rapport du temps pour lequel l'appareil est en marche et le temps pour lequel il est en arrêt (ou en veille). Par exemple, quand un micro-onde est utilisé pendant 15 minutes, le facteur d'utilisation est égal à 0.25.

Le Recknagel [1995] propose quelques valeurs de gains en chaleur pour différents appareils électroménagers. Pour toutes ces valeurs, la puissance raccordée se transforme intégralement en chaleur (tableau IV.5), sauf dans le cas des appareils producteurs de froid où la quantité de chaleur récupérée est supposée égale à 2.8 à 3 fois la puissance raccordée (à la différence des autres références qui prennent une valeur de 1).

Appareil	Puissance raccordée (W)	Facteur d'utilisation	Gain en chaleur sensible (Wh)	Gain en chaleur totale (Wh)
Cuisinière électrique	5000	1	2500	5000
Aspirateur	200	0.25	50	50
Fer à repasser	500	0.6	230	500
Chaîne Hi-Fi	40	1	40	40
Téléviseur	175	1	175	175
Cafetière	500	0.5	180	250
Chaîne stéréophon.	40	1	40	40
Réfrigérateur (100 l)	100	1	300	300

Tableau IV.5 : Gain en chaleur de différents appareils domestiques [Recknagel, 1986]

Dans le modèle 5000 [Claux R., Franca J.P. et col., 1982], les valeurs des gains en chaleur sensible sont données dans le tableau IV.6.

Réfrigérateur	q (W) =0,1 × V(l) + 44,07
Télévision	125 W
Cuisson	1185 W (avec une répartition 60% électricité et 40% gaz)
Divers	- Congélateur : q (W) =0,1 ×V(l) +37,06 - Lave-vaisselle : puissance sensible 5,3 W / Durée moyenne d'un programme 1.25 h - Eau chaude sanitaire : pour le lavage : 0,096 kwh/jour/occupant pour la vaisselle : 0,126 kwh/jour/occupant Les apports des appareils de production d'ECS ne sont pas pris en compte

Tableau IV.6 : Valeurs des apports internes utilisées dans le modèle 5000

Dans [Dehausse R., 1988] et dans [Kreider J.F., Rabl A., 1994], nous trouvons quelques valeurs d'apports dégagés (tableau IV.7) par divers appareils électriques mais la puissance raccordée de ces appareils n'est pas donnée.

Appareil	Gain en chaleur sensible (W)	Gain en chaleur totale (W)
Réfrigérateur (200 l)*	175	
Cuisinière électrique*	3000	
Grille –pain (4 tranches) *	2500	
Machine à laver (5 kg)*	6000	
Télévision**	Totale : 50 –100	Totale : 50 –100
Réfrigérateur**	Totale : 100-200	Totale : 100-200
Ordinateur personnel (PC)**	Totale : 50 -200	Totale : 50 -200

Tableau IV.7 : Apports de chaleur dégagés par divers appareils électriques

*[Dehausse R., 1988]
**[Kreider J.F. Rabl A., 1994]

La variété des équipements, de leurs applications et de leurs scénarios d'utilisation rend le calcul difficile. Chaque type d'équipement possède ses propres caractéristiques et des modes d'utilisation qui influencent la quantité de chaleur dégagée. Cette détermination est, par exemple, plus complexe dans le cas des fourneaux de cuisine. Une méthode canadienne [Moreau A. et al., 1994] utilise la notion de facteur de gain G. Ce facteur représente la part de la puissance électrique raccordée qui se transforme en chaleur sensible.

L'étude faite par l'association électrique Canadienne donne des valeurs du facteur de gain de quelques appareils. Cependant, nous ne connaissons pas les méthodes expérimentales utilisées pour obtenir ces valeurs. Nous ne disposons que de quelques explications que nous citons ci-après.

- Réfrigérateur et congélateur : Le réfrigérateur et le congélateur sont des machines thermiques qui extraient la chaleur du compartiment froid par évaporation du fluide

frigorigène et la restituent à l'ambiance lors de la condensation de ce même fluide. Ces appareils convertissent ainsi l'énergie électrique consommée par le compresseur, en chaleur libérée dans la pièce où se trouve l'appareil [CSW Corporation]. Ce qui leur donne un facteur de gain de chaleur supposé égal à 1.0 (à la différence du Recknagel).

- Fourneaux de cuisine : La détermination du facteur de gain dans le cas des fourneaux de cuisine fait intervenir la modification chimique et thermique de la nourriture et l'évaporation de l'eau par le fourneau. L'étude canadienne calcule ce facteur par la formule suivante :

$$G = 1 - \frac{0.658 \times m}{E_{range}} \qquad \text{(Equation IV.4)}$$

où

G est le facteur de gain de chaleur

m est la masse de vapeur dégagée (kg/cycle)

E_{range} est la consommation d'énergie du fourneau (kWh/cycle)

0.658 est la chaleur d'évaporation de l'eau (kWh/kg)

Malheureusement, il n'y a pas de données disponibles sur la consommation et l'humidité produite par les fourneaux pour utiliser cette formule. Le facteur de gain de chaleur varie selon les plats, la quantité de nourriture et l'utilisation des couvercles. ASHRAE Handbook of Fundamentals suggère que 34% de l'énergie totale consommée dans les restaurants par les appareils de cuisine est utilisée pour l'évaporation de l'eau de la nourriture. Dans ce cas, la valeur de G devient 66%. Une valeur de 66% peut être utilisée par défaut.

- Lave-vaisselle : Le lave-vaisselle utilise l'électricité pour le fonctionnement de la pompe, le chauffage de la résistance et utilise un certain volume d'eau. La majorité de l'eau chaude produite est jetée par le tuyau d'écoulement après usage, tandis qu'une petite partie restant sur la vaisselle s'évapore dans la pièce. La chaleur sensible dans la pièce résulte donc de la quantité d'énergie qui ne part pas dans le tuyau, à savoir la chaleur dissipée par le moteur, le minuteur et la chaleur utilisée pour le séchage (moins la chaleur de vaporisation de l'eau évaporée par le contenu et les surfaces de l'appareil). Le facteur de gain est évalué à 0.23 pour un séchage à air libre et à 0.27 pour un séchage à chaud.
- Lave-linge : Les machines à laver utilisent l'énergie électrique pour le moteur, le contrôle et le minuteur, et utilisent une quantité variable d'eau chaude ou froide dépendant de la température de lavage et de rinçage des cycles, ainsi que du niveau d'eau. Le facteur de gain de chaleur a été calculé, par des tests effectués par la LTEE d'hydro-Québec, en mesurant le flux d'énergie rentrant et sortant du volume de contrôle des machines, et en

calculant le bilan d'énergie. Il est égal à -0.2 pour un lavage et un rinçage à froid, cette valeur négative peut être expliquée par le fait que le flux d'énergie est supérieur au flux sortant. Pour un lavage et un rinçage à chaud, le facteur de gain est égal à 0.06.

IV.3.2.3. Gains provenant de l'éclairage

L'électricité consommée par les lampes et leurs éventuels ballasts est convertie en chaleur sensible par convection et rayonnement. L'énergie radiante visible qui illumine les surfaces de la pièce est soit absorbée et convertie en chaleur sensible par toutes les surfaces illuminées par les lampes, ou transmise directement à l'extérieur par toutes les surfaces transparentes comme les fenêtres. L'énergie transmise est alors perdue par la pièce. Le pourcentage de lumière perdue d'une pièce par transmission directe est généralement faible, environ 4%. En considérant pour les lampes incandescentes que seulement 4% de l'énergie consommée est convertie en rayonnement visible, et que 4% de cette énergie (0.0016) est perdue à l'extérieur, le bilan donne 99.84% d'énergie convertie en chaleur sensible. Pour les lampes fluorescentes à 18% d'efficacité, la fraction perdue à l'extérieur est de 0.0072, et le gain de chaleur est de 99.28%. La fraction de chaleur perdue peut augmenter si les lampes sont déplacées en direction de la fenêtre, ou pour des fenêtres plus grandes [Moreau A. et Al., 1994].

L'apport provenant de l'éclairage dépend aussi du niveau d'éclairement pratiqué dans les locaux, de l'efficacité des lampes et des luminaires employés, et de la durée d'éclairage [Techniques de l'ingénieur, 1998].

Pour l'éclairage intérieur, toutes les références considèrent un facteur de gain égal à 1, en dehors des luminaires refroidis par circulation d'air ou d'eau dans un faux plafond où ils sont encastrés.

Part du rayonnement et de la convection

L'éclairage dégage de la chaleur par convection avec l'air ambiant et rayonnement (qui affecte l'espace après absorption puis émission par les parois et les objets environnants) [ASHRAE Fundamentals, 1997].

Dans une étude du centre d'énergétique de l'école des Mines de Paris [Bezian J.J., 1998], nous trouvons une différenciation des deux grands types de lampes :

- les lampes « chaudes » (spots et halogènes sans abat jour) : elles sont presque exclusivement radiatives, et leur émission est instantanément absorbée par les murs et les différentes pièces de mobilier ; cette énergie est donc stockée, et augmente la charge

thermique du logement. Le bilan énergétique est le suivant : 15% de la puissance est perdu par convection et conduction au travers du culot et 85% émis par rayonnement.

- les lampes dites « froides » (lampes de chevets avec abat jour, et lampes basse consommation) : elles sont, dans la pièce, des émetteurs à température « ambiante », et on peut considérer que la part rayonnée et la part convectée sont du même ordre de grandeur ; elles vont donc être absorbées par les murs (et le mobilier) ou par le volume d'air en parts égales ; comme pour les lampes chaudes, la part rayonnée va être stockée ; par contre, la part convectée devrait augmenter quasi instantanément, mais de façon peu sensible, les pertes par renouvellement d'air.

Plusieurs sources donnent des valeurs du pourcentage de la chaleur dissipée par rayonnement et convection. Nous donnons dans le tableau IV.8 quelques unes de ces sources :

Sources/Lampes	Incandescentes		Fluorescentes	
	Rayonnement	Convection	Rayonnement	Convection
Centre d'énergétique	0.85	0.15	0.5	0.5
ESP	0.8	0.2	0.6	0.4
Dehausse	0.8	0.2	0.5	0.5
Recknagel	0.9	0.1	0.6	0.4
Ashrae	0.8	0.2	0.5	0.5
CIBSE	0.85	0.15	0.55	0.45

Tableau IV.8: Les proportions de chaleur émises par rayonnement et convection pour les lampes

IV.3.2.4.Gains dus aux installations de chauffage et d'eau chaude sanitaire

La chaleur dégagée par les installations comprennent :

- les pertes de distribution du système de chauffage
- les pertes de distribution et de stockage du système d'eau chaude sanitaire.

Le calcul de ces apports est traité dans le chapitre V.

VI.3.2.5. Synthèse

Cette étude bibliographique fait clairement apparaître des insuffisances et des incertitudes dans les méthodes de calcul des gains internes domestiques. Les valeurs trouvées dans la littérature ne sont pas toujours concordantes. Par ailleurs, il est difficile de remonter aux études dont sont issues ces valeurs parfois anciennes. Les méthodes de calcul, quand elles existent, sont présentées sous forme de formules simplifiées sans précision quant à leur origine théorique ou expérimentale [Adra N., 2000]. Les références bibliographiques faisant

état d'une approche expérimentale ne précisent pas le protocole ou les moyens utilisés. Nous donnons ci-après (tableaux IV.9 et IV.10) les valeurs retenues pour notre étude.

Source		Pourcentage de gain en chaleur sensible %
Occupants		100
Eclairage		100
Réfrigérateurs		100
Congélateurs		100
Fourneaux de cuisine		66
Lave-vaisselle :	Séchage à air libre	23
	Séchage à chaud	27
Lave-linge (temp. de lavage/ de rinçage)		
	Froid/froid	-20
	Chaud/froid	4
	Chaud/chaud	6
Sèche-linge :	à évaporation	14
	à condensation	35

Tableau IV.9: Les valeurs du facteur de gain en chaleur sensible utilisées dans notre étude

Pour les autres appareils domestiques (téléviseur, magnétoscope, cafetière, fer à repasser, aspirateur, chaîne hi-fi, etc), nous utilisons un pourcentage de gain égal à 100.

Source	% Chaleur par rayonnement	% Chaleur par convection
Occupants	33	67
Lampes fluorescentes	50	50
Lampes incandescentes	80	20
Machines et appareils	20-80	80-20

Tableau IV.10: Les pourcentages de gain en chaleur par rayonnement et convection par rapport au gain total de chaleur utilisés dans notre étude

IV.3.3. Influence du scénario d'occupation et d'utilisation du logement

On entend par « scénario d'occupation et d'utilisation» d'un logement le nombre d'occupants et les horaires de leur présence, le type de l'éclairage et des différents appareils électriques ainsi que les durées et les modes d'utilisation de chacun d'eux.

En l'absence de données réelles sur ces scénarios pour un habitat, lors de la conception d'un logement neuf par exemple, la plupart des modèles de calcul utilisent un ou plusieurs scénarios prédéfinis. Dans ces scénarios, on peut remarquer les pointes entre 12 et 13h et 19 et

20 h dues aux utilisations de la cuisine et de la salle de bains (figure IV.2) [Techniques de l'ingénieur, 1998].

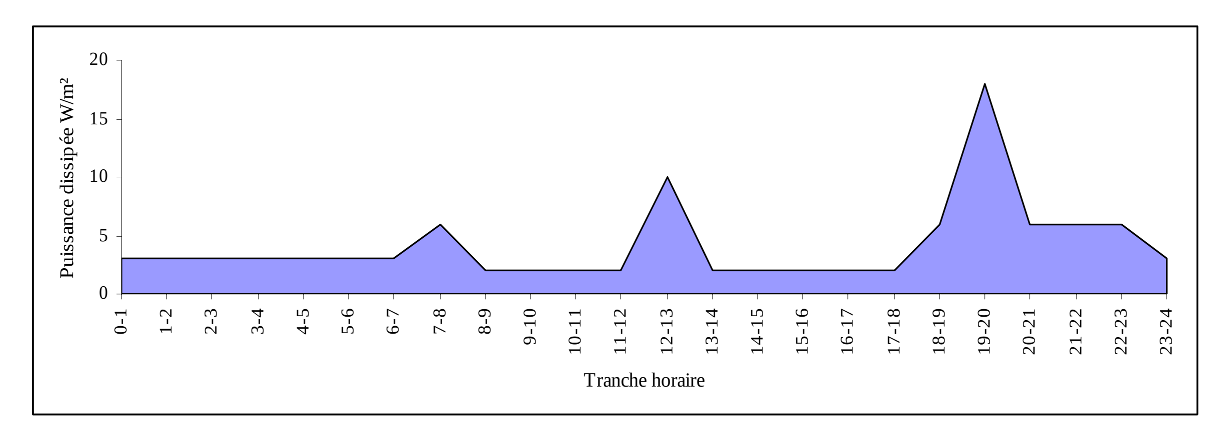


Figure IV.2: Exemple de scénario temporel d'apports internes

Nous avons étudié la sensibilité de la quantité des gains internes par rapport aux différentes variantes constituant le scénario d'occupation et d'utilisation d'un logement. Nous avons considéré un scénario de référence basé sur les résultats de nos mesures dans quatre logements en France et quatre autres au Liban. Les données utilisées pour ce cas de référence sont présentées dans le tableau IV.11.

Cas de référence		
occupation	1 adulte	111 h/semaine
	1 adulte	96 h/semaine
	1 enfant	111 h/semaine
	1 enfant	111 h/semaine
Eclairage	13 W	6 h/jour
	500 W	3 h/jour
	75 W	3 h/jour
	40 W	3 h/jour
	13 W	3h/jour
	60 W	2 h/jour
	60 W	3 h/jour
	60 W	3 h/jour
	60 W	3 h/jour
	80 W	2 h/jour
	40 W	6 h/jour
	60 W	1 h/jour
	13 W	2 h/jour
	60 W	2 h/jour
Equipements	Télévision : 70 W	37 h/semaine
	Magnétoscope : 70 W	6 h/semaine
	Chaîne Hi-fi : 30 W	14 h/semaine
	Réfrigérateur : 1.2 kWh	24 h/24
	Congélateur : 2 kWh	24 h/24
	Lave-linge : 1 et 0.8 kWh/ utilisation	4 fois/semaine
	Sèche-linge : 1 kWh/cycle	4 fois/semaine
	Lave-vaisselle : 1.7 kWh/ utilisation	3 fois/semaine
	Micro-onde : kWh/utilisation	4 fois/semaine

Tableau IV.11: Cas de référence pour le calcul des gains internes

Six scénarios ont été étudiés. Pour chaque scénario une seule variante est considérée, ceci peut être appliqué dans ce cas puisqu'il n'y a pas d'interactions à priori entre les différents facteurs de l'étude. Les différents scénarios sont donnés dans le tableau IV.12. Lorsqu'il s'agit de remplacer les lampes incandescentes par des fluorescentes, nous choisissons les lampes les plus utilisées en considérant qu'en réalité les occupants ne vont pas changer toutes leurs lampes d'un seul coup.

Scénario	**Variantes**
Scénario 1	Nombre d'occupants : deux adultes seulement
Scénario 2	Durée de présence de deux occupants : 1 adulte (18h/jour au lieu de 12h/jour) 1 enfant (18h/jour au lieu de 15h/jour)
Scénario 3	Types de quelques lampes : Jour (23 W au lieu de 500 W) Chambres (15 W au lieu de 60 W)
Scénario 4	Durée d'utilisation des lampes : Jour (6h/jour au lieu de 9h/jour) Chambres (5h/jour au lieu de 3h/jour) Nuit 1 (2 h/jour au lieu de 1h/jour)
Scénario 5	Changement du type de quelques appareils : Télévision (50 W au lieu de 70 W) Réfrigérateur (0.9 kWh au lieu de 1.2 kWh) Congélateur (1.5 kWh au lieu de 2 kWh) Lave-linge (0.7 et 0.4 kWh/cycle au lieu de 1 et 0.8 kWh/cycle) Lave-vaisselle (1.4 kWh/cycle au lieu de 1.7 kWh/cycle)
Scénario 6	Changement de la durée d'utilisation de certains appareils : Télévision (8h/jour au lieu de 5h/jour) Lave-linge (6 fois/semaine au lieu de 4 fois/semaine) Sèche-linge (6 fois/semaine au lieu de 4 fois/semaine) Lave-vaisselle (4 fois/semaine au lieu de 3 fois/semaine) Micro-onde (7 fois/semaine au lieu de 4 fois/semaine)

Tableau IV.12: Les six scénarios étudiés

Le tableau IV.13 donne les résultats du calcul des gains internes pour chaque scénario. Nous donnons également la quantité des gains internes (en kWh et en %) dus aux différentes sources (occupants, éclairage et équipements).

	Occupants		**Eclairage**		**Equipements**		Total	
Scénario/ Gains internes	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	Ecart %
Référence	2407.0	49.9	760.2	15.8	1657.2	34.4	4824.3	
Scénario 1	1321.9	35.4	760.2	20.3	1657.2	44.3	3739.3	22.5
Scénario 2	2653.9	52.3	760.2	15	1657.2	32.7	5071.3	5.1
Scénario 3	2407.0	54.8	329.7	7.5	1657.2	37.7	4393.8	8.9
Scénario 4	2407.0	47	1055.9	20.6	1657.2	32.4	5120.1	6.1
Scénario 5	2407.0	53.8	760.2	17	1308.5	29.2	4475.7	7.2
Scénario 6	2407.0	47.1	760.2	14.9	1937.9	38	5105.1	5.8

Tableau IV.13: Les quantités de gains internes calculés pour les différents scénarios

Cette étude de sensibilité fait apparaître l'importance des apports métaboliques dans le calcul des gains internes qui, dans notre cas, représentent 50% des gains internes et sont susceptibles de varier de 22.5% avec le nombre de personnes et dans une moindre mesure avec les horaires d'occupation.
Pour l'éclairage, qui représente 16%, on obtient une variation de 8.9% des gains internes pour le remplacement de quelques lampes par des fluocompactes et 6.1% pour le changement de la durée d'utilisation des lampes. Les résultats obtenus pour les équipements électroménagers (1/3 des gains internes) montrent également des variations non négligeables si on les remplace par des appareils performants ou que l'on réduit leur utilisation. Ce qui confirme notre choix dans le développement du questionnaire électronique pour le calcul des gains internes lors de l'évaluation de la consommation réelle (voir chapitreV). Ainsi entre un équipement 'performant' et un équipement standard (pour les appareils les plus importants et les lampes les plus utilisées), un écart de 15% peut être obtenu sur le gain de chaleur.

En comparant la quantité des gains internes due à l'utilisation des appareils domestiques et de l'éclairage obtenue pour chaque scénario à la consommation d'électricité correspondante, nous obtenons des ratios allant de 83% à 89%. Pour le scénario 5 (remplacement de quelques appareils par d'autres plus performants), ce pourcentage devient égal à 67%. Ceci montre que la valeur proposée par LESOSAI4 (70% de la consommation annuelle d'électricité) peut être sous-estimée ou sur-estimée selon le cas étudié. Elle dépend du type d'appareils, du nombre des lampes ainsi que de l'énergie de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Le cas de référence traité avec une eau chaude produite par cumulus électrique (et sans prendre en compte les gains de chaleur provenant de l'eau chaude), le ratio passe à 50.4% d'énergie électrique récupérable sous forme de chaleur interne.

IV.3.4. Etude des interactions entre les gains internes et le chauffage

Les apports internes interagissent de manière complexe avec le bâtiment et l'équipement de chauffage, et ont un impact sur la consommation finale d'énergie globale. Cette complexité est due aux interactions d'un grand nombre de paramètres tels que : disponibilité des gains internes et mode d'échange avec le bâtiment, mode d'occupation, conditions climatiques, aptitude du système de chauffage à prendre en compte ces gains, inertie du bâtiment, évacuation des surchauffes, etc.

Parmi les codes disponibles au laboratoire, nous avons choisi d'utiliser ESP [1993] pour réaliser une série de simulations afin de mieux connaître ces interactions (voir annexe IV.a). La maison simulée est une maison individuelle de type 4 et d'une surface habitable de 104.8m². On considère d'abord une régulation idéale du chauffage, basée sur la température d'air intérieure et une consigne de 19 °C. Nous avons essayé de garder le même scénario d'occupation et d'utilisation utilisé au paragraphe précédent. Le scénario choisi conduit à une valeur de gain de 6.9 W/m² soit 38% supérieure à la valeur donnée dans la réglementation thermique (5 W/m²). Les données simulées et les résultats sont présentés dans l'annexe IV.a.

Ces simulations montrent tout d'abord l'importance des gains internes dans le bilan énergétique. Pour les conditions considérées dans le cadre de notre étude, les gains internes contribuent à 31.6% en moyenne aux besoins en chauffage pour le climat de Macon et 44.5% pour le climat de Nice. Le pourcentage est normalement plus élevé pour Nice car les besoins en chauffage sont inférieurs à ceux de Macon.

IV.3.4.1. Impact de l'utilisation d'appareils plus performants

Une des questions traitées dans ce cadre concerne le calcul de l'économie d'énergie nette obtenue lors du remplacement d'appareils électroménagers par d'autres plus performants. Sachant qu'une part importante de l'énergie électrique utilisée par les appareils se transforme en chaleur, certains auteurs tels que Sidler [1998] se sont déjà posés la question de savoir si cela ne conduit pas à un simple transfert de consommation : moins d'électricité et plus de chauffage.

Dans sa campagne de mesures sur site, Sidler a montré que la réduction des gains internes dans les logements après le remplacement des appareils électroménagers par rapport à la solution antérieure avait augmenté de 4.4% les consommations de combustible [Sidler O., 1998]. Mais il a considéré toutes les autres sources de gains internes (nombre d'occupants et leurs habitudes, besoins en eau chaude et en cuisson, pertes de chaleur par les systèmes) comme constantes et n'a pris en compte que l'effet de la variation des conditions météorologiques (1815 DJU_{18} en 1995/1996 et 1887 DJU_{18} en 1996/1997). Dans la réalité, les changements de ces paramètres peuvent néanmoins avoir une influence sur la quantité de gains internes récupérés.

Cependant, on est en accord avec lui sur le fait qu'économiquement il reste toujours préférable, sauf pour les utilisateurs de chauffage électrique, de se chauffer avec une autre énergie que celle dégagée par ses appareils électroménagers.

Pour la maison simulée au paragraphe IV.2.4, on a réalisé des simulations en remplaçant quelques appareils (réfrigérateur, congélateur, lave-linge, lave-vaisselle de classe D et lampes incandescentes) par d'autres plus performants (classe A et lampes fluorescentes) . On a ainsi obtenu une augmentation annuelle de 12.8% des besoins en chauffage pour une diminution de 29.4% des apports internes (voir annexe IV.a). Ces résultats confirment ceux trouvés dans la littérature :

Des simulations faites par Moreau A. et al. [1994] et par le CMHC Canada Mortgage and Housing Corporation [1996] montrent qu'avec l'utilisation d'appareils domestiques plus efficaces (réfrigérateur 20% plus efficace, 4 ou 8 lampes incandescentes de 60 W à la place des lampes fluorescentes de 15 W, pertes par veille de la chaudière d'eau chaude sanitaire de 100 W au lieu de 150 W):

- l'énergie de chauffage augmente,
- la consommation d'électricité est remplacée par une consommation moindre d'énergie de chauffage

Pour une diminution de 37.8% de la consommation énergétique des appareils, CMHC a obtenu une augmentation de 13.8% de la consommation de chauffage (pour un chauffage électrique). Ce résultat diffère selon l'énergie de chauffage utilisée.

L'étude canadienne souligne également l'importance de la distribution spatiale des appareils dans le logement sans pourtant faire une étude détaillée sur ce sujet.

Moreau et al. [1994] montrent que l'effet du remplacement du réfrigérateur et du système d'eau chaude sanitaire par d'autres plus performants est plus intéressant que le remplacement des lampes. Ceci s'explique par une utilisation plus importante et presque constante pendant toute l'année pour le réfrigérateur et le système d'eau chaude. Ils montrent également que la réduction des gains internes consécutive à un choix d'équipements plus performants et un autre scénario d'occupation s'accompagne d'une augmentation de l'énergie de chauffage et ce d'autant plus que :

- les conditions climatiques sont rudes,
- la qualité thermique de l'enveloppe est mauvaise.

Des essais menés par l'ADEME et EDF [Bezian J.J., 1998] ont montré que pour 100 Wh électriques dépensés en moins pour l'éclairage, entre 30 et 80 Wh seront réellement des économies d'énergie. Ces valeurs dépendent surtout des conditions climatiques, des besoins en chauffage du local considéré et de la durée moyenne de l'éclairage. Elles sont à considérer avec prudence car elles mettent l'accent sur le gain réalisé en Francs. Cette économie réalisée dépend du prix de l'électricité, du prix de l'énergie de chauffage et du prix de la lampe et sa durée de vie.

IV.3.4.2. Synthèse

Le calcul précis des gains internes nécessite un grand nombre d'informations telles que l'occupation du logement (nombre de personnes et heures de présence), la consommation et la durée d'utilisation des appareils et des lampes ainsi que l'emplacement de ces appareils. Cela induit un coût important qu'il faut modérer avec le degré de précision souhaitée.
Ce que nous cherchons c'est plutôt un calcul 'efficace' qui donne les gains internes (un moindre coût mais une précision suffisante).
Les occupants sont une source importante d'informations (nombre d'occupants, horaire d'occupation, utilisation des appareils). D'autres données peuvent être obtenues par une simple observation (puissance et nombre des lampes, emplacement des lampes et des appareils, puissance ou consommation fournie par le fabricant). Des mesures peuvent servir à mesurer la consommation des appareils fonctionnant avec différents programmes (lave-linge, lave-vaisselle) et ceux fonctionnant avec un facteur d'usage différent de 1 (réfrigérateur, congélateur).

IV.4. Taux de récupération des apports gratuits

IV.4.1. Définition

Les apports de chaleur sont qualifiés d'apports bruts, car ils n'interviennent pas tels quels dans le bilan thermique d'un bâtiment : seule une fraction de ces apports est susceptible de se convertir en énergie utile, dans des conditions de chauffage, et le reliquat est perdu sous la forme par exemple d'une surchauffe.

On introduit généralement la notion de taux de récupération des apports : η_i pour les gains internes et η_s pour les gains solaires. C'est un facteur de réduction cumulé pendant la période de calcul, introduit dans le bilan énergétique. Le système de chauffage étant supposé parfaitement régulé, le besoin en chauffage pour chaque période de calcul est obtenu comme suit :

$$Q_h = Q_L - \eta_i \times Q_i - \eta_S \times Q_S \qquad \text{(Equation IV.8)}$$

Où

Q_L représente les déperditions (kWh)

Q_h représente les besoins en chauffage (kWh)

Q_i représente les gains internes (kWh)

Q_s représente les gains solaires (kWh)

Ce facteur permet de tenir compte du fait que quand il y a une surchauffe – lorsque les gains de chaleur à un certain moment sont supérieurs aux pertes – une partie des gains devient inutile pour le chauffage. Ceci est dû partiellement à l'augmentation des pertes de chaleur à travers l'enveloppe et les efforts des occupants pour maintenir une température ambiante confortable, notamment par l'ouverture des fenêtres [Barakat S.A., Sander D.M., 1986].

En effet, la récupération des apports internes n'est pas simple. Dans le projet ECODROME [Sidler O., 1998], Sidler explique que les apports récupérables ne sont récupérés qu'à certaines conditions telles que :

- Les apports doivent être libérés dans une pièce chauffée.
- Pour qu'il y ait effectivement récupération d'apports, il faut que le dispositif de régulation de chauffage soit capable de s'adapter afin de réduire l'alimentation en énergie pour maintenir constante la température de consigne dans les locaux et faire en sorte que ce soient les apports qui assurent le complément. Si les caractéristiques de l'installation de chauffage ne sont pas suffisamment performantes pour assurer cette fonction, il n'y a pas récupération d'apports, mais seulement élévation hétérogène de la température dans la pièce sans réduction de la consommation de chauffage.

IV.4.2. Les méthodes de calcul

On recense ci-après les principales méthodes de calcul du taux de récupération d'apports gratuits.

Pour le calcul des besoins de chauffage, ces méthodes utilisent la fraction des déperditions couvertes par les apports gratuits à partir de la valeur du rapport apports bruts entrant dans le logement/déperditions, et l'inertie du bâtiment [Dehausse R., 1988].

Nous expliquons ci-après quelques unes de ces méthodes :

- La norme européenne EN832 calcule un même facteur pour les gains internes et solaires à partir du rapport apports/déperditions et une constante de temps caractérisant l'inertie thermique intérieure de l'espace chauffé.

Le rapport apports/déperditions défini γ comme suit :

$$\gamma = \frac{Q_i + Q_s}{Q_L} \qquad \text{(Equation IV.9)}$$

La constante de temps τ, caractérisant l'inertie thermique intérieure de l'espace chauffé est donnée par:

$$\tau = \frac{C}{H} \qquad \text{(Equation IV.10)}$$

où

C est la capacité thermique intérieure effective (J/K)

H est le coefficient de déperditions (W/K)

Le taux de récupération des gains η se calcule comme suit :

$$\eta = \frac{1-\gamma^{a}}{1-\gamma^{a+1}} \quad si \quad \gamma \neq 1$$

(Equations IV.11, 12)

$$\eta = \frac{a}{a+1} \quad si \quad \gamma = 1$$

où a est un paramètre numérique dépendant de la constante de temps τ, défini par la formule :

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} \qquad \text{(Equation IV.13)}$$

Pour un calcul mensuel, a_0 =1 et τ_0 =16 h.

La figure IV.3 donne les taux de récupération pour les périodes de calcul mensuelles et pour plusieurs constantes de temps.

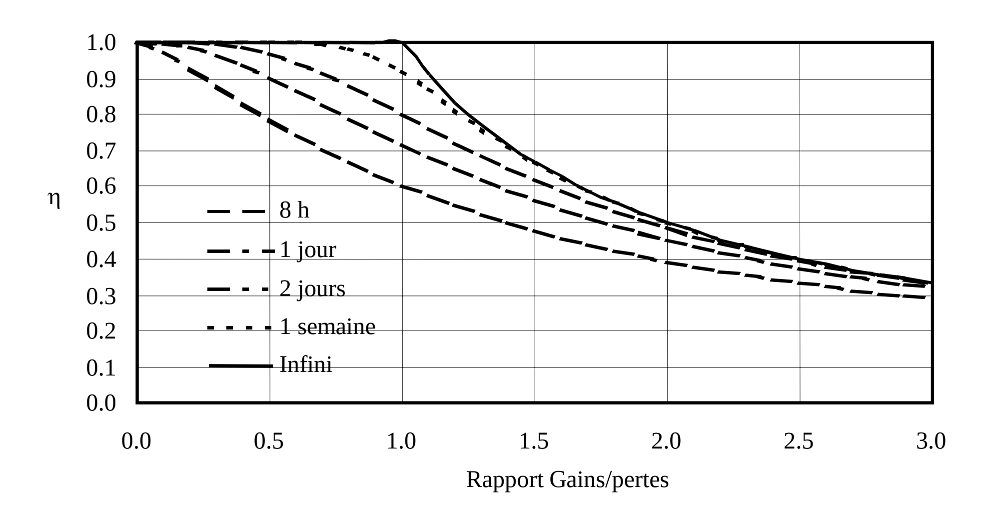


Figure IV.3: Valeurs du facteur de récupération des gains internes de la norme européenne

- Barakat et Sander [1986] utilisent deux facteurs indépendants des apports internes et solaires :

Ils ont montré que η_i peut être calculé indépendamment de l'inertie du bâtiment et de la variation journalière des gains internes. Cependant, ce facteur dépend d'un paramètre γ_i qui est égal au rapport du total de gains internes au total des pertes de chaleur (valeurs mensuelles):

$$\gamma_i = \frac{Q_i}{Q_L} \qquad \text{(Equation IV.14)}$$

La figure IV.4 donne la relation liant γ_i à η_i .

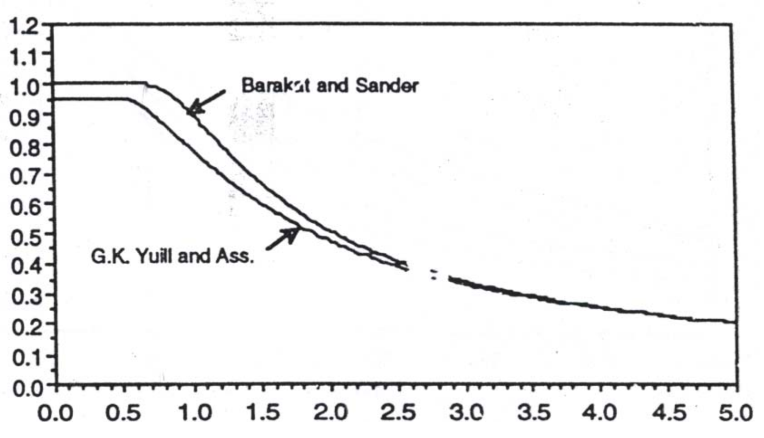


Figure IV.4: Valeurs du facteur de récupération des gains internes
[Barakat S.A. Sander D.M., 1986]

Barakat et Sander proposent également une série d'équations pour le calcul de η_i (tableau IV.14)

Valeur de γ_i	Valeur de η_i
< 0.4	1
$0.4<\gamma_i<2.2$	$\frac{1.0+0.054*\gamma_i^{3.19}}{1.0+0.24*\gamma_i^{3.06}}$
≥ 2.2	$\frac{1}{\gamma}$

Tableau IV.14: Formules pour le calcul du facteur de récupération des gains internes [Barakat S.A. Sander D.M., 1986]

La même méthode est utilisée par Yuill [Moreau A. et al., 1994]. Mais la relation de Yuill donne à η_i une valeur plus petite que celle donnée par celle de Barakat. Cette différence s'explique par les hypothèses considérées. Barakat considère que tous les gains internes sont utilisés pour le chauffage (η_i = 1) pour les mois froids où les gains sont inférieurs aux pertes. Tandis que Yuill considère que la chaleur émise par les sources internes comprend une partie rayonnante qui augmente la température des murs de l'enveloppe, et donc augmente les pertes de chaleur, ce qui réduit la fraction des gains internes utilisée pour le chauffage à 95% [Moreau A. et al., 1994].

Facteur de récupération des gains solaires

Le facteur de récupération des gains solaires dépend de deux rapports [Barakat S.A. Sander D.M., 1983] :

Le premier γ_s exprimant l'importance des gains solaires vis-à-vis des besoins en chauffage en absence de gains solaires :

$$\gamma_s = \frac{Q_s}{Q_L - \eta_i Q_i} \quad \text{(Equation IV.15)}$$

Le second γ_{ss} (en h/K) prend en compte l'inertie du bâtiment et sa capacité à stocker l'excès de chaleur causé par les gains solaires.

$$\gamma_{ss} = \frac{C}{g_s} \quad \text{(Equation IV.16)}$$

où

C est la capacité thermique du bâtiment (MJ/K)

g_s est la moyenne horaire des gains solaires mensuels (MJ/h)

Ce facteur prend en compte les caractéristiques du bâtiment à stocker les gains ainsi que la surface, le type et l'orientation du vitrage.

Comme pour les gains internes, η_s diminue quand γ_s augmente. Ce qui montre que les gains solaires sont moins utiles quand la surchauffe augmente, due à des gains solaires importants vis-à-vis de l'énergie de chauffage demandée. Ceci montre également que les gains solaires sont plus utiles pour les bâtiments inertes (γ_{ss} élevé), qui peuvent absorber l'excès de chaleur provenant des gains solaires.

- Dans les techniques de l'ingénieur [1998], un coefficient de récupération des apports gratuits est calculé, défini par :

$$\eta = (Q_{h1}-Q_{h2})/Q_i \qquad \text{(Equation IV.17)}$$

Avec

Q_{h1} chaleur qui aurait été émise dans les mêmes conditions, mais sans apports

Q_{h2} chaleur émise par le système de chauffage pendant une période *t* avec apports

Q_i cumul des apports solaires et internes pendant la période concernée *t*

En posant :

Q_{L1} déperditions thermiques du logement en l'absence d'apports pendant la période *t*

η_{max} taux maximal de récupération des apports

avec *t* supposé suffisamment grand pour que l'état final du bâtiment soit égal à son état initial, le taux maximal de récupération est alors égal à :

$$\eta_{max} = Min\ (1,\ Q_{L1}/Q_i) \qquad \text{(Equation IV.18)}$$

- Le CSTB emploie la notion de fraction annuelle des déperditions couvertes par les apports gratuits à partir de la valeur X = (apports bruts entrant dans le logement)/(déperditions) et de la classe d'inertie du bâtiment [Dehausse R., 1988].

Selon que l'on effectue un calcul de récupération d'apports sur une base mensuelle ou annuelle, le résultat obtenu peut être sensiblement différent, la meilleure précision étant bien sûr obtenue pour un calcul mensuel qui traduit mieux le couplage ensoleillement-bâtiment [Techniques de l'ingénieur, 1998].

IV.4.3. Comparaison des différentes méthodes

IV.4.3.1. Facteur de récupération des gains internes

Pour comparer toutes ces méthodes, nous avons calculé le facteur de récupération donné par chacune d'elles pour la maison présentée dans l'annexe IV.a. Des simulations faites sur ESP ont permis de calculer une valeur correspondante de η_i à partir de l'équation IV.8.

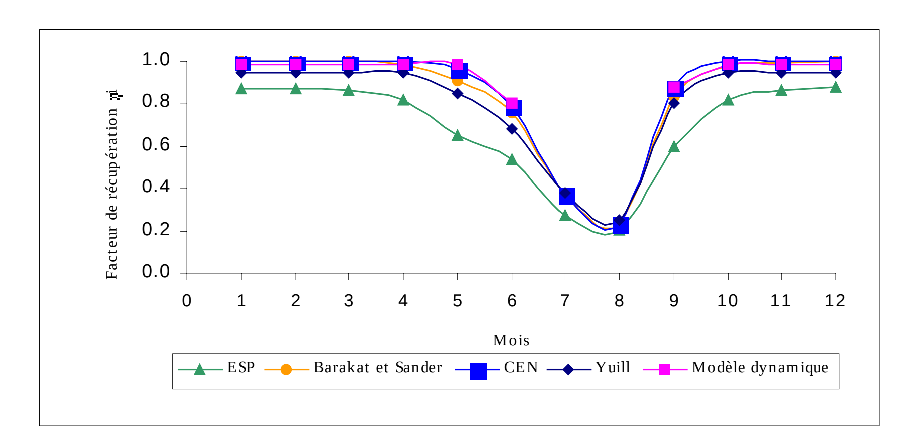


Figure IV.5: Comparaison des valeurs du facteur de récupération η_i calculées par les différentes méthodes

La figure IV.5 montre que, pour la saison de chauffage, les valeurs de Barakat, de Yuill, de CEN, et celles calculées par le modèle dynamique simple présenté au chapitre V (sous forme d'une capacité thermique et de trois résistances thermiques), sont très proches (l'écart maximum est de 5%). La méthode proposée dans les techniques de l'ingénieur donne des valeurs de 1 pendant la saison de chauffe pour la maison simulée. A l'aide d'ESP, nous avons calculé le facteur de récupération en calculant les besoins en chauffage Q_{h1} pour une simulation sans gains internes et sans gains solaires et une autre avec gains internes et sans gains solaires Q_{h2}. Pour faire des simulation sans gains solaires, nous considérons qu'il n'y a pas d'apports solaires par les fenêtres en changeant les propriétés des surfaces vitrées (facteur de gains solaires et de transmission solaire direct = 0.001).

Les valeurs utilisées de Q_{h1}, Q_{h2} et Q_i représentent la somme des besoins en chauffage et des gains internes de toutes les zones chauffées (au nombre de 8) pour chaque mois.

Le facteur de récupération est alors égal à :

$$\eta_i = (Q_{h1} - Q_{h2})/Q_i \qquad \text{(Equation IV.19)}$$

On obtient la même allure de courbe mais les valeurs sont inférieures. Les simulations montrent que les gains internes ne sont pas totalement récupérés, lorsqu'ils s'associent à des

surchauffes localisées à certaines pièces (cas de la cuisine ici). Le facteur de récupération des apports internes introduit dans le bilan énergétique monozone en régime permanent peut être surestimé dans ce cas. Les données simulées et les résultats des simulations et des différents calculs sont donnés dans l'annexe IV.b.

Cela n'explique pas la différence que nous trouvons entre le calcul ESP et les autres méthodes car ces deux conditions sont remplies ici. Nous pensons à un effet du multizonage. Pour analyser ce facteur d'erreur, nous avons fait une autre simulation en divisant la partie chauffée en deux zones. La figure IV.6 montre qu'en hiver nous avons pratiquement les mêmes valeurs, par contre en été elles sont nettement inférieures.

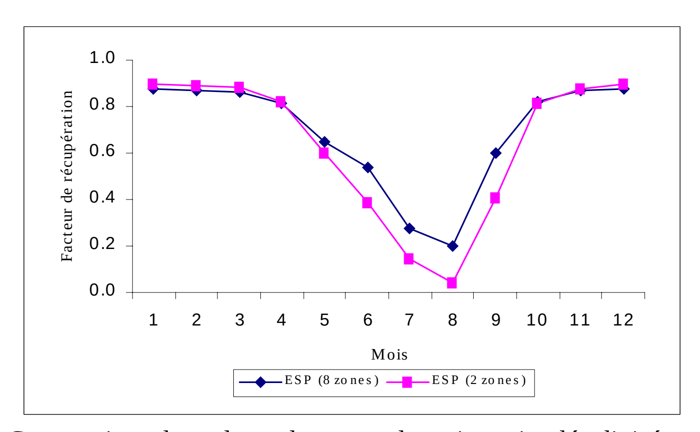


Figure IV.6 : Comparaison des valeurs de η_i pour la maison simulée divisée en 8 et 2 zones

Dans les calculs précédents, η_i est obtenu pour chaque mois à partir des besoins en chauffage et des gains internes cumulés pour l'ensemble des zones.

Un autre calcul peut être effectué en calculant la moyenne de η_i pour chaque zone par la formule :

$$\eta_i = \frac{1}{N} \times \sum_{j=1}^{N} \eta_j \qquad \text{(Equation IV.20)}$$

N étant le nombre de zones

Pour la maison divisée en deux zones (figure IV.7), nous avons calculé les valeurs de η_i sur la méthode de moyenne ou de cumul. Pour Barakat, les deux calculs donnent les mêmes valeurs (moyenne Barakat – total Barakat). Les valeurs de Yuill (total Yuill) sont proches de celles que nous avons obtenues par ESP à partir de la moyenne. Les différents résultats du calcul de η_i sont donnés dans l'annexe IV.c.

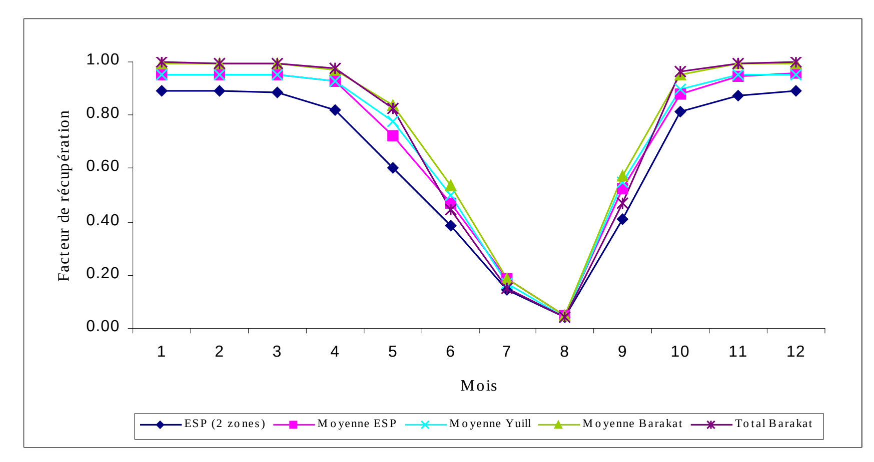


Figure IV.7: Comparaison des valeurs de η_i pour la maison simulée divisée en 2 zones

D'après cette étude, il semble que les valeurs du facteur de récupération obtenues par la méthode CEN peuvent être surestimées dans le cas de surchauffes locales et que cette méthode ne permet pas de prendre en compte l'effet du multizonage, de l'emplacement des appareils et de la partie rayonnante des apports internes. Mais, en rapport avec le degré de précision recherchée dans notre procédure, cette méthode simplifiée nous semble suffisante.

IV.5. Définition de la procédure développée

La procédure développée 'EC-Pro' est constituée d'une phase d'analyse sur site et de mesures et d'une phase de calcul afin de bénéficier des avantages offerts par chacune. (figure IV.9)

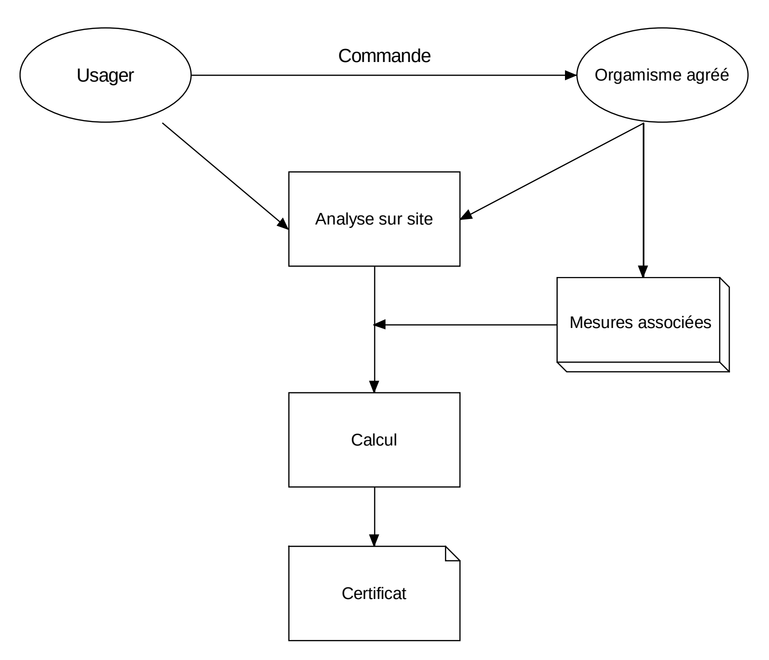


Figure IV.9: Organigramme de la procédure

La phase de calcul comprend trois niveaux :

1) Le calcul de la consommation standard qui aide le consommateur à analyser la performance énergétique de son logement par comparaison à d'autres logements similaires ou à des cas de référence.
2) Le calcul de la consommation réelle ou d'usage qui est une étape importante de la procédure pour le consommateur. Elle permet d'informer les occupants sur leur conduite énergétique et d'expliquer la répartition du coût parmi les différents usages d'énergie.
3) Les opportunités d'économie d'énergie doivent être proposées par la procédure, avec le calcul des économies réalisables et les coûts liés à l'amélioration de l'enveloppe et le système de chauffage. Elles peuvent aussi concerner le comportement des occupants.

La phase d'analyse sur site et de mesures sert à déterminer les données d'occupation nécessaires au calcul de la consommation réelle. Cette phase est certes coûteuse car elle comprend la visite du logement par un spécialiste mais elle fournit des informations plus fiables sur les caractéristiques du bâtiment et sur son occupation. Elle rend la démarche de la certification plus sérieuse et constitue de résultats personnalisés.
Des mesures et un entretien avec les occupants sont à faire afin de définir les données d'occupation du logement.

Donc la procédure nécessite de développer :

- un protocole de mesures et de collecte des données,
- un outil de calcul pour le calcul des consommations d'électricité et des gains internes,
- un outil de calcul pour la consommation d'énergie de chauffage et d'eau chaude sanitaire,
- un outil de calcul des économies d'énergie réalisables (lié aux deux outils précédents),
- un ensemble de base de données,
- un certificat attractif à délivrer aux consommateurs.

IV.6. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les données d'occupation nécessaires pour le calcul de la consommation réelle et nous avons souligné l'importance du rôle des gains internes dans le bilan énergétique du bâtiment d'autant plus élevée que les besoins en chauffage sont faibles. En particulier, l'apparition d'appareils domestiques performants mérite qu'on évalue plus

précisément qu'à l'accoutumé la part de chaleur gratuite disponible dans un bâtiment et la rentabilisation de ces apports par le système de chauffage.

Nous avons montré d'une part que la bibliographie sur le sujet, assez ancienne, est relativement pauvre, d'autre part que le facteur de récupération des apports internes introduit dans le bilan énergétique d'un bâtiment en régime permanent peut être surestimé en cas de surchauffes locales.

Ce chapitre nous a servi à souligner l'importance des apports internes et l'ambiguïté liée à leur calcul et à leur récupération. Il nous a permis également de justifier le choix de la méthode CEN pour le calcul du facteur de récupération dans EC-Pro.

Chapitre V

Proposition d’une procédure de certification énergétique:EC-Pro

V.1. Introduction

Nous proposons dans ce chapitre une description détaillée de la procédure de certification énergétique développée EC-Pro 'Energy Checking Procedure'. En marge de la procédure, nous apportons des éléments de réponse aux problèmes de l'approche sur site, des mesures et de la convivialité de l'outil de calcul.

Ce chapitre est organisé en trois parties. La première regroupe les différentes opérations de l'acquisition de données : la préparation de la visite, les mesures et leur analyse et le questionnaire auprès des occupants. Nous présentons les différents algorithmes de calcul et d'analyse des données. Nous abordons ensuite le problème du coût de cette approche expérimentale.

La seconde section explicite l'outil de calcul des consommations, sa structure et ses domaines d'application. Nous détaillons étape par étape les algorithmes de calcul et les formules utilisés. Cette section est également l'occasion de définir exactement les consommations standard, réelle et les économies d'énergie.

La troisième section décrit le certificat proposé et donne une interprétation de chacune de ses parties.

V.2. La méthodologie choisie

L'originalité de notre procédure est de s'appuyer à la fois sur une description du bâtiment, de ses systèmes, de ses équipements, et des spécificités de fonctionnement et d'usage ainsi que sur des mesures. Elle est constituée de deux phases :

1) Phase d'analyse sur site et de mesures :

Un technicien visite le logement et effectue un examen et une description détaillée de l'enveloppe, de la géométrie et des systèmes. Le technicien demande aux occupants des informations concernant leur mode d'occupation et d'utilisation et installe un nombre d'instruments de mesures pour rassembler des données nécessaires au calcul. Le technicien prend également une copie des factures d'énergie et une copie des plans du bâtiment quand ils existent. Pour faciliter cette phase de saisie, nous avons développé un questionnaire électronique explicité en V.3.

2) Phase de calcul :

En premier lieu, la consommation d'énergie du logement est calculée pour un comportement standard des occupants. Si le technicien dispose de données sur le comportement réel des occupants à partir du questionnaire et des mesures (la quantité des gains internes, les besoins en eau chaude sanitaire, etc), il sera possible de calculer la consommation réelle ou d'usage.

L'outil propose ensuite une liste des économies d'énergie réalisables qui sont calculées selon le même algorithme comme la différence entre la consommation du bâtiment modifié et celle du bâtiment réel. Les améliorations proposées peuvent concerner l'amélioration de l'enveloppe du logement et l'amélioration des systèmes. D'autres mesures telles que le remplacement des appareils électriques et le changement des habitudes peuvent être ajoutées.

3) Délivrance d'un certificat énergétique :

Les résultats sont donnés sous forme d'un « certificat énergétique » comprenant un label énergétique et un plan d'efficacité énergétique :

- Le label énergétique classe la consommation standard selon une échelle fixée par les instances nationales. La consommation réelle doit également être présentée (selon les résultats de l'enquête) avec la répartition des consommations ou la facture énergétique.
- Le plan d'efficacité énergétique propose une liste des possibilités d'économie d'énergie chiffrées et quelques recommandations.

Les outils informatiques associés à la procédure développée EC-Pro, ainsi que les mesures et l'acquisition de données, sont choisis de façon à être conviviaux et de coût minimum. La durée choisie pour l'application de la procédure est d'une semaine pendant la saison de chauffe pour tenir compte du rythme usuel d'occupation des logements. Cette durée peut être augmentée en cas de problèmes ou d'irrégularité d'occupation ou du climat.

V.3. Acquisition des données

V.3.1. Rappel des objectifs

L'objectif principal de l'analyse sur site et des mesures est de rassembler les informations concernant le comportement des occupants, les appareils et leur utilisation et les besoins en eau chaude sanitaire.

Les mesures doivent également :

- fournir des informations qui ne sont pas obtenues par une simple visite,
- être simples à réaliser et non encombrantes pour les occupants,
- aboutir au calcul des données nécessaires pour la consommation réelle,
- répondre aux attentes des consommateurs en matière d'informations personnalisées.

V.3.2. Préparation de la visite

Le technicien interroge les occupants (par téléphone par exemple) pour la préparation des mesures de façon à connaître le nombre et l'implantation des capteurs à prévoir.

La préparation comprend :

- la sélection des pièces pour les mesures : la température intérieure doit être mesurée pour chaque pièce représentative du volume intérieur, défini comme l'ensemble des pièces chauffées ou non. Dans le cas où un espace non chauffé est chauffé par les occupants pour un usage spécifique, il ne doit pas être considéré comme faisant partie du volume chauffé pour ne pas considérer sa consommation spécifique en énergie. Si ce n'est pas possible de le distinguer, il fera partie du volume chauffé.
- Le choix des instruments de mesures pour la consommation des appareils électriques et la durée de l'éclairage ainsi que le mode d'installation.

Le questionnaire électronique permet d'automatiser certaines tâches et de n'oublier aucune information.

V.3.3. Matériel utilisé sur site

Les mesures nécessaires à notre procédure sont :

- les dimensions du bâtiment : aide précieuse d'un métreur à ultrasons.
- la composition des parois : un endoscope (checkscope de Olympus (figureV.1)) permet de voir la nature des différentes couches d'une paroi s'il est possible de l'introduire dans cette paroi par un trou existant ou spécialement créé.

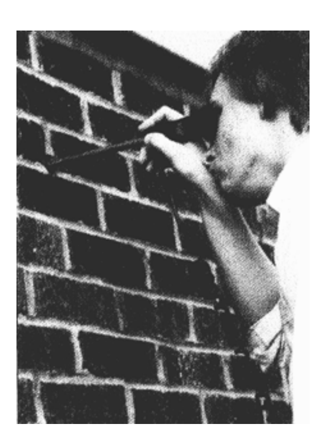


Figure V.1: Inspection visuelle d'un mur en briques à l'aide d'un checkscope

- la température intérieure : Les bâtiments pouvant être multizones, c'est-à-dire constitués de pièces chauffées différemment, il est nécessaire de définir une température représentative de l'état thermique du bâtiment. C'est en général la moyenne volumique des températures des pièces chauffées qui est utilisée. Nous utilisons des capteurs non filaires (exemple : Tinytag (figure V.2)) pour les mesures de la température intérieure et extérieure. La température extérieure sert à choisir un climat pour le calcul réel et à calculer le coefficient de réduction de température des espaces non chauffés.



Figure V.2: Tinytag

(température intérieure à gauche et température extérieure à droite)

- le taux de renouvellement d'air : C'est un facteur important dans le calcul des pertes de chaleur par le bâtiment, mais sa mesure par gaz traceur reste coûteuse. Il varie de plus énormément avec les conditions climatiques et le système utilisé. Il est possible d'avoir des informations sur les ouvertures des fenêtres à l'aide des appareils existants, mais le calcul du taux de renouvellement d'air à partir de ces données n'est pas bien connu. Dans la majorité des outils de calcul, les taux de ventilation sont forfaitisés ce que nous avons retenu également en attendant de moyens de mesure plus accessibles.
- les consommations électriques :
    - Pour les appareils : Nous devons distinguer les appareils fonctionnant en continu (exemple : réfrigérateur, congélateur), ceux fonctionnant en intermittence

(exemple : télévision, chaîne stéréo, magnétoscope, four, etc) et ceux fonctionnant selon des programmes choisis (exemple : lave-linge, lave-vaisselle, sèche-linge, etc). Des mesures en continu permettent de connaître les puissances appelées à chaque instant (système DIACE (figure V.3)) mais des mesures cumulatives sont suffisantes pour des appareils tels que réfrigérateur et congélateur (appareils ELV (figure V.4)). S'il n'est pas possible d'insérer une prise entre le mur et l'appareil, une pince ampèremétrique peut être utilisée. Cela nécessite d'accéder à l'un des fils de la phase.

- Pour l'éclairage: il faut connaître la puissance des lampes installées ainsi que la durée d'utilisation des lampes. Nous avons testé l'utilisation de capteurs photosensibles pour confronter les dires des occupants quant à la durée d'éclairage (exemple : HOBO (figure V.5)).




Figure V.3: les appareils DIACE



Figure V.4: Exemple des ELV fixé à une prise

- l'eau chaude sanitaire : Pour l'eau chaude sanitaire, nous mesurons la température de production de l'eau chaude, la température d'utilisation et la température de l'eau froide. Le débit d'eau chaude utilisé est difficile à appréhender et sera forfaitisé suivant les usages.
- Le système de chauffage : Le rendement nominal de chaudière peut être partiellement connu par la mesure du rendement de combustion, à partir de la mesure de la température de fumée, du taux d'oxygène (ou de CO, CO_2, NO éventuellement).



Figure V.5: un capteur Hobo fixé sur une lampe à incandescence

Les spécifications des appareils de mesures utilisés sont données dans l'annexe V.a.

V.3.3.2. Analyse des mesures

Après cette phase de mesure, une phase d'analyse est nécessaire afin de préparer les données suivantes pour le calcul :

- les surfaces des murs intérieurs et extérieurs, du plancher, du plafond et des partitions : elles sont déterminées à partir des dimensions intérieures.
- les surfaces des ouvertures et de l'encadrement
- la température moyenne de chaque pièce (sur la base d'une semaine)
- la température moyenne extérieure
- la température moyenne de l'espace chauffé : lorsque la température de consigne n'est pas uniforme, la température intérieure à utiliser est calculée à partir du volume et de la température de chaque zone:

$$\theta_i = \frac{\sum_z V_z \theta_{iz}}{\sum_z V_z} \qquad \text{(Equation V.1)}$$

où

θ_{iz} est la température intérieure de la zone z (°C)

V_z est le volume de la zone z (m^3)

En cas de ralenti ou d'intermittence de fonctionnement, la température de ralenti et la durée d'intermittence doivent être également calculées.

- le facteur b de réduction pour les espaces non chauffés : Si la température de l'espace non chauffé θ_{nc} est mesurée, il est parfois utile de calculer directement ce facteur en fonction des températures extérieure et intérieure (si celle-ci est constante) par la formule :

$$b = \frac{\theta_{nc} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \qquad \text{(Equation V.2)}$$

où θ_e est la température extérieure (°C)

- la consommation électrique pour chaque appareil domestique : pour les appareils fonctionnant en continu, nous mesurons la consommation moyenne en kWh pour 24h et pour ceux fonctionnant avec différents programmes, nous mesurons la consommation en kWh de chaque utilisation. Pour les appareils fonctionnant en intermittence, nous notons la puissance en W d'utilisation et de veille.

V.3.4. Le questionnaire électronique

Nous avons montré dans les chapitres précédents l'importance des informations concernant l'occupation du logement, les différents appareils et leur utilisation ainsi que de toutes autres données nécessaires au calcul. La collecte de toutes ces informations doit être rapide et structurée. Pour cela, nous avons développé dans EC-Pro un questionnaire électronique sous MS-Excel et Visual Basic. Les données mesurées peuvent être directement utilisées dans ce questionnaire. Elles servent à comparer ou à compléter les informations fournies par les occupants. Un guide d'utilisation du questionnaire est disponible avec l'outil (voir annexe V.b.)

V.3.4.1. Description du questionnaire

Le questionnaire comprend :

- Un ensemble de bases de données accessibles sous forme de listes déroulantes afin de faciliter l'utilisation (scénarios d'occupation, d'utilisation des équipements et de l'eau chaude sanitaire, types des appareils électriques et des lampes)
- plusieurs algorithmes de calcul pour le traitement des données (gains internes, consommation d'électricité des appareils électroménagers et d'un cumulus électrique, besoins en eau chaude sanitaire)

Nous distinguons trois parties :

- La première partie est destinée à l'identification du comportement des occupants :
  - nombre des occupants et durée de présence
  - utilisations de l'eau chaude sanitaire
  - durée d'utilisation des appareils (lampes et appareils domestiques) (figure V.6)
- La deuxième partie est destinée à la description des équipements : puissance ou consommation et durée d'utilisation.

Les besoins en énergie sont alors calculés pour une période d'une semaine et d'un an. Les consommations mesurées peuvent directement être utilisées dans le questionnaire pour remplacer les valeurs hebdomadaires calculées.

Domestic appliances

If not recorded, give the nominal consumed **energy (kWh)** for mains programs and ratio of use.

		Energy consumption for main programs (kWh)				Ratio of use (percent) for each program				Age (years)	Heat gains for main programs (%)			
	Type	n°1	n°2	n°3	n°4	n°1	n°2	n°3	n°4	(0 if no corr.)	n°1	n°2	n°3	n°4
DW		1.9				100.0					25.0			
Freeze		1.0									100.0			

Figure V.6: Exemple du tableau de description des appareils domestiques

- La troisième partie contient les résultats : la consommation électrique, les gains internes et les besoins en eau chaude.

V.3.4.2. Les algorithmes de calcul

Le questionnaire comprend différents algorithmes et formules pour calculer :

V.3.4.2.1. La consommation électrique des équipements

La consommation électrique standard peut être calculée pour chaque pays sur la base de données statistiques nationales. La consommation réelle pour les appareils et l'éclairage doit être calculée à partir des consommations fournies par les fabricants ou des données des mesures et des informations concernant l'utilisation de chaque appareil. Le questionnaire calcule ensuite la consommation électrique comme suit :

- Pour un appareil fonctionnant en continu, la consommation est égale à la consommation journalière multipliée par 7 pour avoir la consommation par semaine.

- Pour un appareil fonctionnant par intermittence avec une puissance constante, la puissance est multipliée par la durée d’utilisation par semaine, en tenant compte de la consommation de veille et du temps de mise en veille.
- Pour un appareil fonctionnant par cycles, de consommation variable selon les programmes choisis, il est nécessaire de calculer la moyenne hebdomadaire de la consommation des différents programmes utilisés.

En multipliant par le nombre des semaines de présence, nous obtenons la consommation annuelle à partir de la consommation par semaine. Un facteur de saisonnalité, prenant en compte le changement de l’utilisation des appareils selon les saisons, est utilisé (tableau V.1).

Equipement	Hiver	Eté
Lave-linge	+6%	-13%
Sèche-linge	+6%	-13%
Lave-vaisselle	+9%	-14%
Cuisinière	+12%	-16%
Eclairage	+23%	-30%
Réfrigérateur	-16%	+18%
Congélateur	-15%	+13%

Tableau V.1: Déviation relative entre la consommation en hiver (été) et la consommation annuelle moyenne [Fels M.F., 1986]

Quand la consommation n’est pas mesurée mais donnée par le fabricant, nous pouvons utiliser un coefficient tenant compte de l’âge de l’appareil. Le manque de données sur ce point nous a empêché de l’inclure dans le calcul.

V.3.4.2.2. Les besoins énergétiques pour l’eau chaude sanitaire

Les besoins en eau chaude sanitaire sont calculés forfaitairement ou à partir du débit et de la température d’eau chaude utilisée. La quantité de chaleur nécessaire pour préparer l’eau chaude est:

$$Q'_w = (\rho C_{water})Vol(\theta_{HW} - \theta_{cold}) \quad \text{(Equation V.3)}$$

où

θ_{HW} est la température d’eau chaude fournie (°C)

θ_{cold} est la température de l'eau froide entrant dans le système de préparation d'eau chaude (°C)

Vol est le volume d'eau chaude consommé pendant la période de calcul (m^3)

ρ est la masse volumique de l'eau = 1000 kg/m^3

C_{water} est la capacité thermique massique de l'eau = 4180 J/kg°C

La difficulté est de connaître exactement le volume d'eau utilisé pour une utilisation hebdomadaire qui dépend aussi de la température finale d'usage (toilettes, lavabos, évier de cuisine, etc).

Le volume d'eau chaude sanitaire fournie, *Vol*, pour assurer la satisfaction des besoins au puisage, V_u à θ_u, dépend des températures de l'eau chaude, θ_{HW}, et de l'eau froide, θ_{cold}.

La relation entre le volume d'eau chaude fournie par le système à l'utilisateur, à θ_{HW}, et le volume d'eau chaude sanitaire utilisée au puisage, à θ_u, est la suivante [CSTB, 2000]:

$$Vol = V_u \frac{\theta_u - \theta_{cold}}{\theta_{HW} - \theta_{cold}} \qquad \text{(Equation V.4)}$$

Le volume d'eau chaude utilisé par semaine et la température finale d'utilisation de l'eau chaude sont connus à travers le questionnaire.

V.3.4.2.3. Les apports internes

Les apports internes provenant des différents appareils domestiques sont calculés comme un pourcentage de l'énergie consommée, fonction de chaque appareil. Ils sont ajoutés aux gains provenant des occupants. Ce point a été détaillé au chapitre IV.

V.3.4.3. Les résultats

Les résultats fournis par le questionnaire sont :

- la consommation électrique du logement (calculée en Wh pour une semaine et en kWh pour un an) détaillée par usage
- les gains internes (calculés en J pour une semaine et en MJ pour un an)
- un comparatif des valeurs calculées et des valeurs mesurées le cas échéant

- un tableau contenant les résultats nécessaires pour le calcul de la consommation réelle : la quantité de gains internes par mois (MJ) et les besoins annuels en eau chaude (MJ/an) (figure V.7).

SUMMARY OF OUTPUTS ABOUT THE OCCUPANT BEHAVIOUR

Save workbook

About electricity consumption:	(weekly statistics)		Weekly cons. [kWh]	Yearly cons. [kWh]	Percentage of total
Hot water power	[W]	Electricity	[kWh]	0.0 [kWh]	0.0%
Total lighting power	1581 [W]	Electricity	28.4 [kWh]	1161.1 [kWh]	33.7%
Total leisure equipment power	284.7 [W]	Electricity	9.3 [kWh]	543.8 [kWh]	15.8%
Mean consumption of domestic appliances	0.5638 [kWh]	Electricity	33.9 [kWh]	1743.3 [kWh]	50.6%
The total consumed electricity for DHW, lighting and appliances is		for a week:	71.6 [kWh] and yearly	3448.3 [kWh]	100.0%

About casual gains	(weekly statistics)		Weekly heat gains [MJ]	Yearly heat gains [MJ]	Percentage of total
Nb of occupants	5 [persons]	Heat gains	223.2 [MJ]	10715.3 [MJ]	48.7%
Domestic hot water	1105 [liters]	Heat gains	*calculated in EC_PRO tool*	*calculated in EC_PRO tool*	
Lighting	177 [hours]	Heat gains	105.4 [MJ]	4313.4 [MJ]	19.6%
Leisure equipment	6 [pieces]	Heat gains	73.9 [MJ]	3546.7 [MJ]	16.1%
Domestic appliances	10 [pieces]	Heat gains	71.0 [MJ]	3409.0 [MJ]	15.5%
Total heat gains from occupants, DHW, lighting and appliances are		for a week:	473.6 [MJ] and yearly:	21984.4 [MJ]	100.0%

About recorded consumption:	(weekly statistics)		Weekly consumption [kWh]	Percentage of calculated cons.
Hot water power	[W]	Electricity	0.0 [kWh]	
Total lighting power	0 [W]	Electricity	0.0 [kWh]	
Total leisure equipment power	0 [W]	Electricity	8.0 [kWh]	0.858189374
Mean consumption of domestic appliances	0 [kWh]	Electricity	28.1 [kWh]	0.829250317
The total recorded electricity for DHW, lighting and appliances is		for a week:	36.1 [kWh]	50.5%

Data to export to EC-PRO tool

Monthly casual gains [MJ]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Lighting	467	395	398	347	329	308	180	196	385	438	452	478	4373
Leisure equipment	327	296	327	317	327	317	179	179	317	327	317	327	3557
Domestic appliances	315	284	315	304	315	304	172	172	304	315	304	315	3419
Metabolism from occupants	989	893	989	957	989	957	542	542	957	989	957	989	10747
TOTAL	2097	1868	2028	1924	1959	1886	1075	1090	1963	2068	2030	2108	22097

Annual DHW needs	1654.1653 kWh/year

Figure V.7: Exemple du tableau de résultats du questionnaire électronique

V.4. L'outil de calcul EC_Pro

Le programme développé EC-Pro inclut un outil de calcul simplifié pour évaluer les consommations d'énergie des bâtiments résidentiels.

Les méthodes de calcul utilisées reposent sur un bilan énergétique en régime permanent des pertes de chaleur et gains affectés et d'un taux de récupération prenant en compte l'effet dynamique des apports internes et solaires. L'hypothèse du régime permanent est généralement suffisante pour le calcul.

V.4.1. Domaines d'application

Le programme peut être utilisé pour les applications suivantes :

- donner un label à la consommation standard d'un bâtiment,
- comparer les consommations standard et réelle afin d'évaluer l'effet du mode d'occupation et du climat,
- proposer des mesures d'économie d'énergie,
- évaluer l'effet d'éventuelles mesures d'économie d'énergie.

La période de calcul utilisée est mensuelle. Pour cette période, l'outil calcule :

- les déperditions,
- les gains internes et solaires et leur taux de récupération,
- les besoins nets en chauffage,
- les pertes de chaleur des systèmes de chauffage et eau chaude sanitaire,
- la consommation brute d'énergie dans les cas standard et réel.

et propose les mesures d'économie d'énergie.

V.4.2. Structure du programme

Par commodité, le développement de l'outil s'est fait dans l'environnement MS-Excel et MS-Visual Basic. Il est principalement composé:

- d'un code visual basic
- de feuilles de calcul Excel
- de tableaux et de graphes de résultats
- d'une bibliothèque de composants dans un classeur Excel (murs, planchers, plafonds, partitions, vitrages, systèmes de chauffage et d'eau chaude sanitaire)et d'informations locales, telle que les climats. (figure V.8)

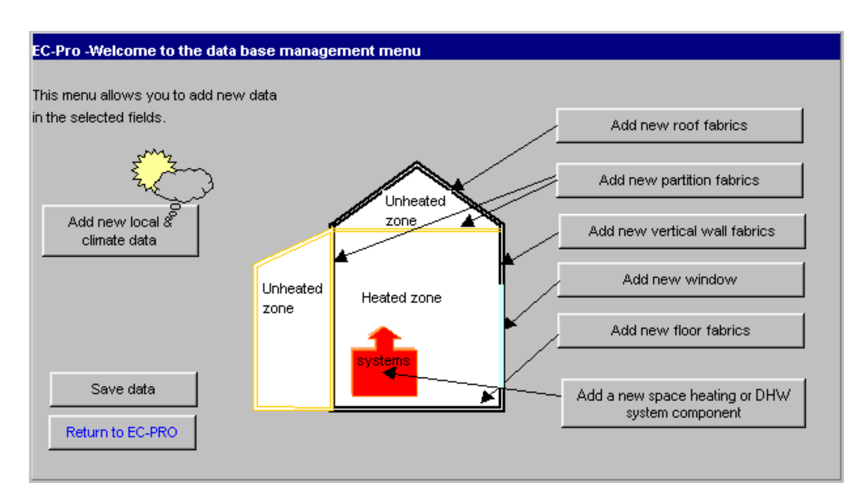


Figure V.8: Ecran principal de la bibliothèque de EC-Pro

L'exécution du programme comprend :

- la saisie des données : informations générales sur le projet et la fourniture d'énergie, choix du climat, données concernant le bâtiment (géométrie, enveloppe) et les systèmes (chauffage et eau chaude sanitaire) (figure V.9) ;

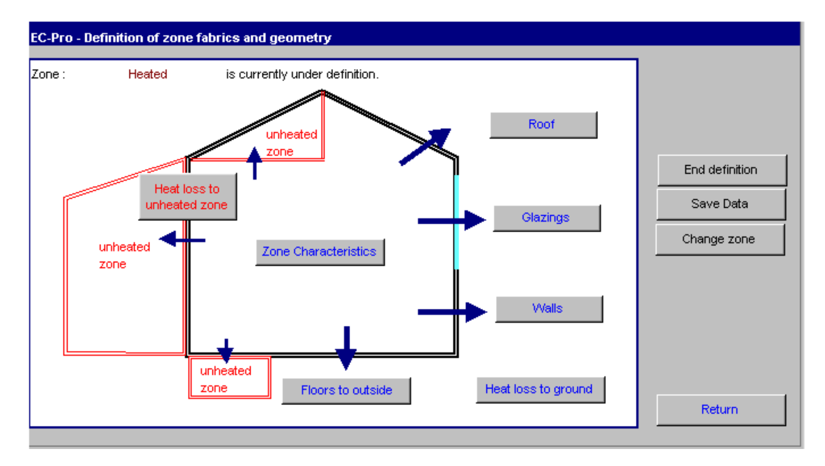


Figure V.9: Ecran des informations concernant le bâtiment

- trois niveaux de calcul (consommation standard, consommation réelle et économies d'énergie) (figure V.10) ;
- la possibilité de relecture ou de chargement d'un projet existant ;
- des possibilités de sauvegarde des entrées et des résultats.

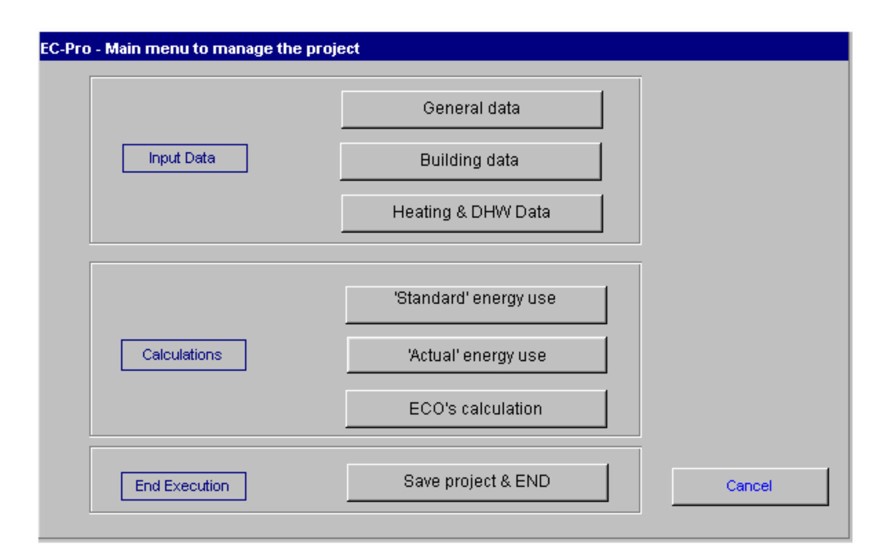


Figure V.10: Ecran du menu principal

V.4.2.1. Organigramme

La figure V.11 présente l'organigramme de EC-Pro et aide à comprendre les étapes à suivre pour le calcul d'un logement. Quatre applications complètes seront détaillées dans le chapitre VI.

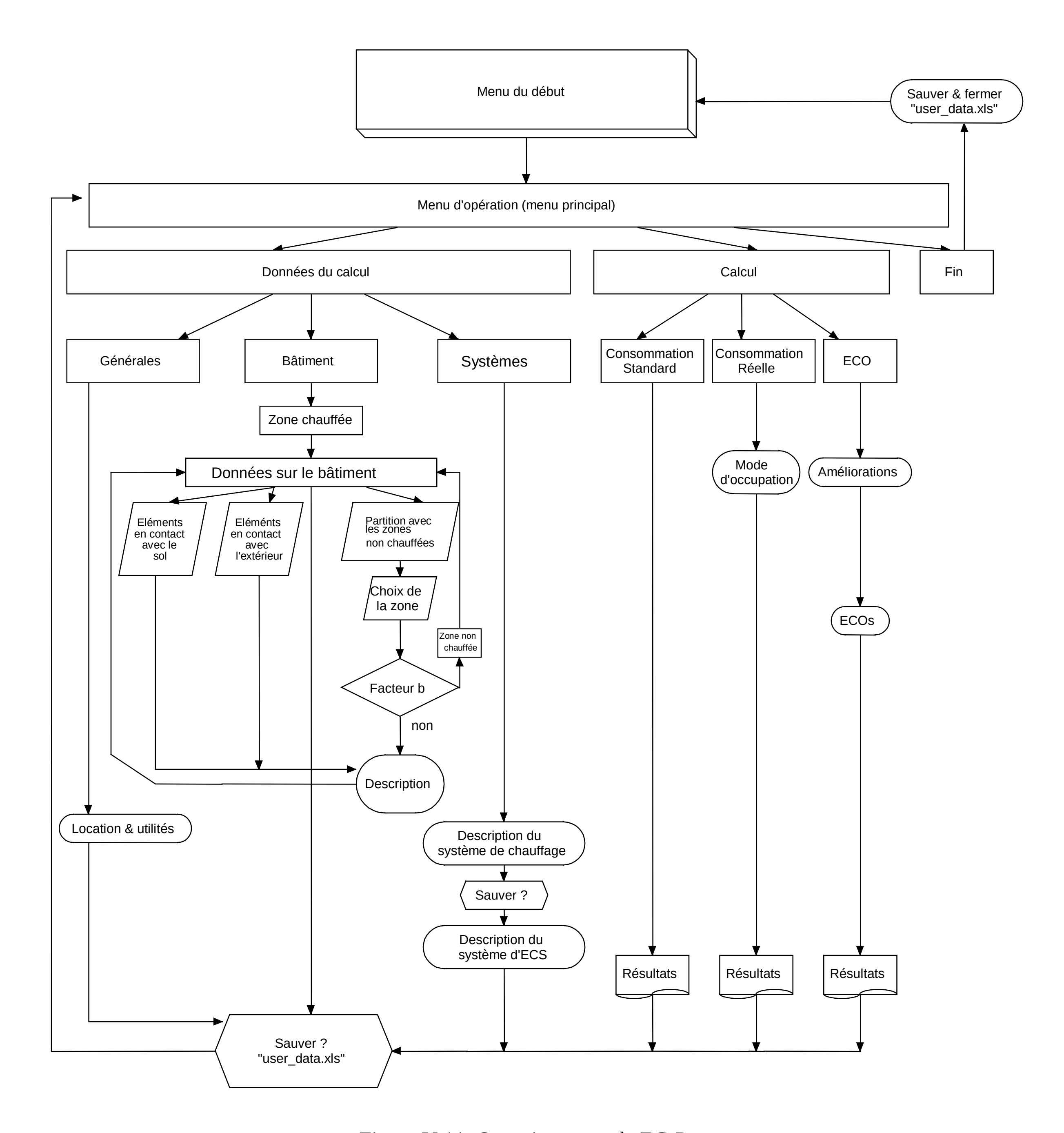


Figure V.11: Organigramme de EC-Pro

Un guide d'utilisation de EC-Pro est donné dans l'annexe V.b.

V.4.3. Les algorithmes de calcul

V.4.3.1. Les déperditions

V.4.3.1.1. Les déperditions par l'enveloppe

Les besoins en chauffage sont calculés selon la norme européenne EN832 [1998]. La température extérieure et l'ensoleillement sont donnés par des statistiques mensuelles de la Météorologie nationale (TRY ou autres).
La température intérieure réelle est donnée par les occupants (affichage du thermostat ou mesure) et peut être intermittente.

Les déperditions sont données par:

$$Q_L = H\,(\theta_i - \theta_e)t + Q_G \qquad \text{(Equation V.5)}$$

Où

t est la durée de la période de calcul

Q_G représente les déperditions par le sol

H est le coefficient de déperdition du bâtiment (W/K):

$$H = H_T + H_V \qquad \text{(Equation V.6)}$$

où

H_T est le coefficient par transmission à travers l'enveloppe (W/K)

$$H_T = U \times A \qquad \text{(Equation V.7)}$$

avec

U est le coefficient de déperdition spécifique par transmission par les parois (W/K.m²)

A est la surface totale déperditive (m²)

H_V est le coefficient de déperdition par renouvellement d'air. Il est calculé par:

$$H_v = 0.34 \times \dot{V} \qquad \text{(Equation V.8)}$$

avec

0.34 est la capacité thermique de l'air (Wh/m^{3}K)

$\dot{V}$ est le débit de l'air transitant dans le bâtiment, y compris le débit au travers des espaces non chauffés (m^3/h)

Le débit d'air, $\dot{V}$, peut être calculé à partir d'une estimation du taux de renouvellement d'air, n (h^{-1}), par :

$$\dot{V} = nV \qquad \text{(Equation V.9)}$$

où V est le volume de l'espace chauffé, calculé à partir des dimensions intérieures (m^3)

Renouvellement d'air minimum :

Dans le cas où aucune information nationale n'est disponible, la valeur recommandée du taux de renouvellement d'air dans les habitations est n_{min}= 0.5 h^{-1}.

Pour la ventilation naturelle, le débit d'air doit correspondre à la valeur la plus grande entre 0.5 m^3/h et le débit nominal. Dans le cas où aucune information nationale n'est disponible, il est possible d'évaluer le taux de renouvellement d'air à partir du niveau d'étanchéité du bâtiment. Le niveau d'étanchéité est défini à partir de plages de taux de renouvellement d'air sous une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur, n_{50}. Ce chiffre inclut les débits à travers les entrées d'air.

	n_{50}	Non abrité	Modérément abrité	Très abrité
Fort ($n_{50} \leq 40h^{-1}$)	3	0.5	0.5	0.5
Moyen ($4 < n_{50} < 10h^{-1}$)	7	0.8	0.6	0.5
Faible ($n_{50} \geq 10h^{-1}$)	10	1.5	1.1	0.7

Tableau V.2 : Taux de renouvellement d'air n (h^{-1}) à ventilation naturelle déterminé à partir de l'exposition au vent et de l'étanchéité du bâtiment

Pour les systèmes de ventilation mécanique, le débit d'air total est défini comme la somme du débit déterminé à partir des débits d'air moyens des ventilateurs du système lorsqu'ils sont en marche, $\dot{V}_f$, et du débit d'air supplémentaire, $\dot{V}_x$, induit par le vent et le tirage thermique du fait de la non-étanchéité de l'enveloppe.

$$\dot{V} = \dot{V}_f + \dot{V}_x \qquad \text{(Equation V.10)}$$

pour les systèmes de ventilation équilibrés, $\dot{V}_f$ est égal la plus grande des valeurs entre le débit d'air amené, $\dot{V}_{sup}$, et le débit d'air extrait $\dot{V}_{ex}$.

L'estimation du débit d'air supplémentaire peut être calculée par :

$$\dot{V}_x = \frac{Vn_{50}e}{1+\frac{f}{e}\left[\frac{\dot{V}_{sup}-\dot{V}_{ex}}{Vn_{50}}\right]^2} \qquad \text{(Equation V.11)}$$

e et *f* sont des coefficients d'exposition au vent donnés dans le tableau V.3.

	Coefficient e	Coefficient f
Site non abrité (bâtiments en rase campagne, bâtiments de grande hauteur en centre ville)	0.1	15
Site modérément abrité (bâtiments en campagne protégés par des arbres ou par d'autres bâtiments, banlieues)	0.07	15
Site très abrité (bâtiments de taille moyenne en centre ville, bâtiments en forêt)	0.04	15

Tableau V.3: Coefficients d'exposition au vent, e et f, pour le calcul du débit d'air supplémentaire

- Les déperditions spécifiques en présence d'un espace non chauffé sont données par:

$$H_{ie} = H_{ue}b = H_{iu}(1-b) \qquad \text{(Equation V.12)}$$

Où

b est un facteur de réduction appliqué aux déperditions de l'espace non chauffé, donné par :

$$b = \frac{H_{iu}}{H_{iu}+H_{ue}} \qquad \text{(Equation V.13)}$$

avec

H_{iu} est le coefficient de déperditions spécifiques entre l'intérieur et l'espace non chauffé

H_{ue} est le coefficient de déperditions spécifiques entre l'espace non chauffé et l'extérieur

Quand la température de l'espace non chauffé est égale à θ_e, nous prenons b = 0. Quand elle est égale à θ_i, nous prenons b = 1.

Dans le cas des parois en contact avec des logements adjacents, nous définissons ce logement comme étant : un espace non chauffé ou un espace chauffé à la même température. Dans les autres cas, un calcul multizone pourra être intégré dans l'outil.

V.4.3.1.2. Les déperditions par le sol

Les déperditions par le sol, Q_G sont calculées selon la norme EN ISO 13370 [CEN, 1998], « Performance thermique des bâtiments – Transfert de chaleur par le sol – Méthodes de calcul » qui donne une méthode de calcul mensuel.
Les déperditions par le sol pour un espace non chauffé sont prises en compte en multipliant les déperditions par le sol par le facteur de réduction *b*.

L'outil calcule Q_G , pour un plancher sans isolation ou uniformément isolé (situé au niveau z), par la formule :

$$Q_G = U(\theta_i - \theta_e)t \qquad \text{(Equation V.14)}$$

Le coefficient de transmission thermique *U* dépend de la dimension caractéristique du plancher *B'* et de l'épaisseur équivalente d_t définies comme suit :
B' (m) est définie comme la surface du plancher *A* (m²) divisée par son demi-périmètre (m):

$$B' = \frac{A}{1/2P} \qquad \text{(Equation V.15)}$$

$$d_t = w + \lambda(R_f + 0.17 + 0.04) + 1/2z \qquad \text{(Equation V.16)}$$

avec

w est l'épaisseur totale du mur vertical au niveau du sol (m)

λ est la conductivité thermique du sol (W/mK)

R_f est la résistance thermique de la résistance de la dalle plancher (m²K/W)

- plancher sans isolation ou avec isolation sur toute la surface $U=U_0$, avec U_0 le coefficient de transmission thermique de base calculé par:

Si $d_t < B'$, alors

$$U_0 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t}\ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \qquad \text{(Equation V.17)}$$

Si $d_t \geq B'$ (planchers bien isolés):

$$U_0 = \frac{\lambda}{0.475B' + d_t} \qquad \text{(Equation V.18)}$$

- Dans le cas d'un plancher avec isolation périphérique ou dans les autres cas, des informations supplémentaires sont nécessaires pour le calcul de U. Afin de simplifier l'utilisation de l'outil nous pouvons rentrer directement la valeur estimée de U dans EC-Pro

V.4.3.2. Les apports de chaleur

V.4.3.2.1. L'apport total de chaleur

Les apports internes, Q_i, et les apports solaires, Q_s, s'additionnent pour former l'apport total de chaleur, Q_g :

$$Q_g = Q_i + Q_S \qquad \text{(Equation V.19)}$$

V.4.3.2.2. Les apports internes

Les apports internes peuvent être forfaitisés ou calculés selon IV.3.
Les valeurs moyennes mensuelles de ces apports sont données par :

$$Q_i = (\phi_i + b\phi_{iu})t \qquad \text{(Equation V.20)}$$

où

ϕ_i est la puissance moyenne des apports internes dans l'espace chauffé

ϕ_{iu} est la puissance moyenne des apports internes dans les espaces non chauffés

V.4.3.2.2. Les apports solaires

Les apports solaires dépendent de l'ensoleillement normalement présent sur le site concerné et des surfaces réceptrices équivalentes sur les différentes orientations [CSTB, 2000]. Pour une période de calcul donnée, les apports solaires se calculent comme suit:

$$Q_s = \sum_j I_{sj} \sum_n A_{snj} \qquad \text{(Equation V.21)}$$

où la première somme s'effectue sur toutes les orientations j, 9 orientations sont considérées (horizontal, nord, sud, est, ouest, Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest)

La seconde somme s'effectue sur toutes les surfaces n d'orientation j qui captent le rayonnement solaire

I_{sj} est l'irradiation solaire sur une surface unitaire ayant l'orientation j

A_{snj} est l'aire réceptrice équivalente de la surface ayant l'orientation *j*. Elle est calculée comme suit:

$$A_s = AF_oF_Fg \qquad \text{(Equation V.22)}$$

où

A est l'aire de la baie

F_F est le facteur de réduction pour les encadrements des vitrages, égal au rapport de l'aire de la surface transparente à l'aire totale de la menuiserie vitrée;

F_o est le facteur d'ombre, il est défini par l'utilisateur pour des raisons simplificatrices, et peut être calculé par :

$$F_o = F_C\, F_s \qquad \text{(Equation V.23)}$$

où F_C est le facteur d'ombre des rideaux;

F_s est le facteur d'ombre de la surface qui peut être calculé par :

$$F_s = F_hF_oF_f \qquad \text{(Equation V.24)}$$

Avec F_h est le facteur de correction pour l'horizon

F_o est le facteur de correction pour les surplombs

F_f est le facteur de correction pour les écrans latéraux

g est le facteur solaire de la baie

Le facteur solaire utilisé dans cette formule est en principe la moyenne dans le temps du rapport de l'énergie traversant l'élément exposé à l'énergie incidente sur celui-ci, en l'absence d'ombrage.

Certaines valeurs figurent dans le tableau V.4. Ces valeurs correspondent à l'incidence normale, avec une surface propre.

Type de vitrage	g
Vitrage simple	0.85
Double vitrage clair	0.75

Tableau V.4 : Facteurs solaires pour les deux types de vitrages les plus courants

V.4.3.3.Les besoins en chaleur pour le chauffage

V.4.3.3.1. Bilan thermique

Les déperditions, Q_L, et les apports de chaleur, Q_g ($=Q_i+Q_s$) , sont calculés pour chaque période de calcul. Le besoin de chaleur pour chaque période de calcul est obtenu comme suit:

$$Q_h = Q_L - \eta(Q_i + Q_s) \quad si\ \theta_i > \theta_e$$ (Equation V.25)

Où η est le taux de récupération des apports de chaleur cumulés pendant la période de calcul, introduit dans le bilan énergétique afin de prendre en compte le comportement dynamique du bâtiment. La méthode de calcul de η est donnée au paragraphe IV.4.2.

V.4.3.3.2. Besoins annuels nets de chaleur

Les besoins annuels de chaleur sont la somme des besoins des mois durant lesquels les besoins nets de chaleur sont positifs $Q_{hn}>0$:

$$Q_h = \sum_n Q_{hn}$$ (Equation V.26)

La saison de chauffage inclut tous les jours pour lesquels les apports de chaleur ne compensent pas les déperditions de chaleur, c'est-à-dire:

$$\theta_e \leq \theta_i - \frac{Q_g}{Ht}$$ (formule V.27)

Les valeurs mensuelles moyennes des températures et des apports de chaleur journaliers sont attribuées au 15ème jour de chaque mois. Une interpolation linéaire est utilisée pour obtenir les jours limites pour lesquels la formule V.28 est vraie.

V.4.3.4. Les besoins nets de chauffage dans le cas d'une intermittence

Un modèle simple avec une capacité thermique et trois résistances thermiques (voir figure V.12) est utilisé pour le calcul de la variation journalière de la température intérieure et les besoins journaliers d'énergie de chauffage résultant de l'intermittence du système de chauffage ou de la température de consigne.

L'inertie thermique du bâtiment est représentée par une capacité affectée au nœud de température θ_m. Les échanges entre θ_m et l'environnement extérieur, entre θ_m et l'environnement intérieur et directement entre les ambiances intérieure et extérieure sont pris en compte séparément par des résistances thermiques [CEN, 1998].

La température extérieure est considérée comme constante et égale à la moyenne mensuelle de la température. Les apports de chaleur gratuits Q_g sont repartis de façon égale sur toute la journée.

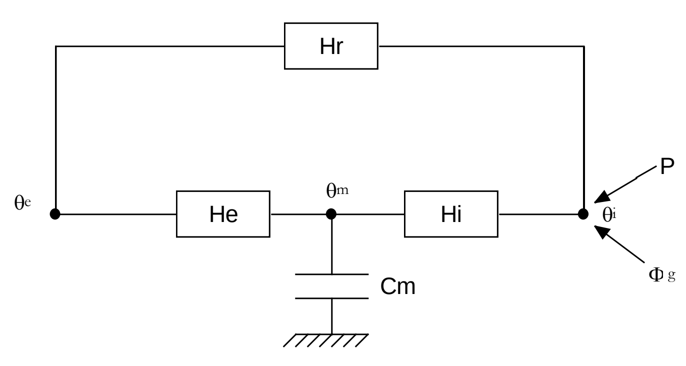


Figure V.12 : Schéma analogique équivalent d'une zone

θ_e est la température extérieure

θ_i est la température intérieure

θ_m est la température affectée au nœud capacitif

P est la puissance de chauffage

C_m est la capacité thermique de la zone (J/K)

H_e est le coefficient de déperdition entre la structure et l'intérieur (W/K)

H_i est le coefficient de déperdition entre la structure et l'ambiance intérieure (W/K)

H_r est le coefficient de déperdition direct (W/K)

Φ_g représente la puissance moyenne de chaleur gratuite

L'ensemble des équations à résoudre est donc:

$$\begin{cases} C_m \dot{\theta}_m = H_i(\theta_i - \theta_m) + H_e(\theta_e - \theta_m) \\ 0 = H_r(\theta_e - \theta_i) + H_i(\theta_m - \theta_i) + P + \Phi_g \end{cases} \quad \text{(Equations V.28, 29)}$$

qui peut être remplacé par les équations suivantes pour le calcul, à chaque pas de temps, de $\theta_i\ (t)$, $\theta_m\ (t)$ et $P_s(t)$ qui est la puissance nécessaire du système de chauffage afin de maintenir une température égale à θ_s (θ_c ou θ_{sb}) :

$$\begin{cases} \theta_m(t) = \theta_m(t-1)e + \theta_e(1-e) - \dfrac{B_{ch}(1-e)}{A}(P(t)+\Phi_g) \\ \theta_i(t) = C\theta_m(t) + D_{ext}\theta_e + D_{ch}(P(t)+\Phi_g) \\ P_s(t) = \dfrac{\theta_s - eC\theta_m(t-1) - \left[C(1-e)+D_{ext}\right]\theta_e}{D_{ch} - \dfrac{B_{ch}C}{A}(1-e)} - \Phi_g \end{cases}$$

(Equations V. 30, 31, 32)

Les coefficients sont définis comme suit:

$$\begin{cases} A = -\dfrac{1}{C_m}\dfrac{H_i H_r + H_e H_r + H_i H_e}{H_i + H_r} \\ B_{ch} = \dfrac{1}{C_m}\dfrac{H_i}{H_i + H_r} \\ B_{ext} = -A \\ C = \dfrac{H_i}{H_i + H_r} \\ D_{ext} = \dfrac{H_r}{H_i + H_r} \\ D_{ch} = \dfrac{1}{H_i + H_r} \\ e = e^{A\Delta t} \end{cases}$$

(Equations 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39)

Le calcul itératif se fait en partant du moment où l'intermittence commence (à $t = 0$) au moment de la fin de cette intermittence (t_u) et finalement jusqu'à la fin de la journée:

Au temps $t = 0$ $\theta_i = \theta_c$ $P = 0$

$t \leq t_u$ - s'il y a un ralenti et $\theta_i < \theta_{sb}$ alors $P(t) = min(P_{max};P_{sb}(t))$

- sinon $P(t)=0$

- θ_i et θ_m sont calculées au temps t à partir des équations V.30, 31

$t > t_u$ - si $\theta_i < \theta_c$ alors $P(t) = min(P_{max};P_{sb}(t))$

- sinon $P(t)=0$

- θ_i et θ_m sont calculées au temps t à partir des équations

Les besoins mensuels nets de chauffage, Q_h, sont calculés à partir des besoins en puissance journaliers en multipliant par le nombre de jours de chauffage du mois. Les déperditions de l'enveloppe Q_L sont calculées pour la température intérieure moyenne journalière qui résulte du calcul précédent.

V.4.3.5. Les pertes par les systèmes

La consommation du système de chauffage et d'eau chaude sanitaire nécessite de prendre en compte les différentes pertes de chaleur du système. En Europe, il n'y a pas encore de norme pour ce calcul. Nous nous sommes inspirés des règles ThC et du calcul réalisé dans EK-Pro comme expliqué en V.4. Ces pertes sont difficiles à mesurer et il est préférable de les calculer à partir de la description du système.

Les systèmes de chauffage utilisés dans EC-Pro sont le système de chauffage central et le système de chauffage direct.

V.4.3.5.1. Les pertes de distribution d'un chauffage central

Les pertes de distribution à travers les conduites Q_{pipes} sont calculées en fonction des dimensions des conduites et des caractéristiques thermiques de l'isolant et des conduites. Elles sont calculées par l'équation V.40 en supposant une température uniforme quelque soit l'éloignement par rapport à la chaudière :

$$Q_{pipes} = \frac{2\pi Lt}{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{r_e h_e} + \frac{1}{\lambda} ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{1}{\lambda_i} ln\left(\frac{r}{r_e}\right)}\left(T_{pipe} - T_{room}\right) \qquad \text{(Equation V.40)}$$

avec

T_{pipe} est la température moyenne dans les conduites (°C)

T_{room} est la température ambiante autour des conduites (°C)

r_e est le rayon extérieur de la conduite, isolation comprise (m)

r_i est le rayon intérieur de la conduite, isolation non comprise (m)

r est le rayon moyen de la conduite (isolation comprise) (m)

h_i et h_e sont respectivement les coefficients d'échange superficiel de l'intérieur et de l'extérieur de la conduite (W/m²°C)

λ et λ_i sont respectivement les conductivités thermiques de la conduite et de l'isolant (W/m°C)

L est la longueur totale des conduites (m)

Les pertes de chauffage récupérables dépendent de l'emplacement des conduites d'où la prise en compte du facteur de récupération b (défini au paragraphe V.4.3.1).

Les besoins totaux en énergie d'un système de chauffage central à eau chaude sont donnés par :

$$Q_{gh} = Q_h + (1-b)Q_{pipes} \qquad \text{(Equation V.41)}$$

V.4.3.5.2. Les pertes de distribution de l'eau chaude sanitaire

On suppose que les pertes ne s'effectuent que lors des puisages, sans tenir compte des bras morts.

L'énergie perdue dans le circuit de distribution de l'eau chaude sanitaire Q'_{pipes} est calculée par la même formule que pour le système de chauffage intégrée sur le temps t_w. Ce temps représente le temps de fonctionnement du brûleur calculé en fonction du besoin en énergie Q'_w, de la puissance P_w et du rendement η_i.

$$t_w = \frac{Q'_w}{\eta_i P_w} \qquad \text{(Equation V.42)}$$

où

η_i est le rendement instantané du générateur à charge constante

P_w est la puissance nominale du système de production de l'eau chaude

Q'_w est le besoin énergétique pour l'eau chaude sanitaire

V.4.3.5.2. Les pertes de stockage de l'eau chaude sanitaire

En cas de stockage, on considère que la température dans le ballon de stockage est uniforme, et constante (égale à la température de production). Les déperditions du stockage $Q'_{storage}$ s'expriment par :

$$Q'_{storage} = \frac{A_{\tan k}t'}{r_{\tan k}}\left(T_{\tan k} - T_{room}\right) \qquad \text{(Equation V.43)}$$

où

A_{tank} est la surface du ballon de stockage

T_{tank} est la température de l'eau chaude dans le ballon (°C)

T_{room} est la température ambiante autour du ballon de stockage (°C)

r_T est la résistance thermique de l'enveloppe du ballon (W/m²°C)

t' est le temps de fonctionnement (s) : $t' = 24*3600*n_j$

n_j est le nombre de jours de fonctionnement pour la période considérée

V.4.3.6. Calcul de la consommation totale en énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire

- Calcul de la demande globale en énergie pour le générateur du système de chauffage:

$$Q_{ge} = \frac{Q_{gh}}{\eta_e \eta_c} \qquad \text{(Equation V.44)}$$

où η_e et η_c sont respectivement les rendements d'émission et de régulation pris forfaitairement égaux aux valeurs données dans les tableaux V.5 et V.6.

Emetteurs	Valeurs de η_e
Radiateurs et convecteurs	0.95
Air chaud	0.95
Sol	1
Plafond	0.95
Sol et plafond	0.95

Tableau V.5: Valeurs du rendement d'émission pour différents types d'émetteurs [CSTB, 1988]

Type du contrôle	Unité indépendante	Chauffage central
Sans contrôle de température	0.9	0.9
Contrôle ancien	0.93	0.93
Contrôle normal	0.96	0.96
Contrôle amélioré	0.99	0.99

Tableau V.6: Valeurs du rendement d'émission pour différents types d'émetteurs

- Calcul de la demande globale en énergie pour l'unité de production d'eau chaude:

$$Q'_{ge} = \frac{Q'_w}{\eta_d \eta_s} \qquad \text{(Equation V.45)}$$

où η_d et η_s sont respectivement les rendements de distribution et de stockage

- Calcul de la durée de marche du brûleur pour le système de chauffage et d'eau chaude :

$$t_u = \frac{Q_{gh}}{\eta_e \eta_c P_n}$$

$$t''_u = \frac{Q'_w}{\eta_d \eta_s P'_n}$$

(Equations V.46, 47)

où P_n est la puissance nominale utile du système de chauffage et P'_n pour l'eau chaude (W)

- Calcul du rendement saisonnier de la chaudière $\eta_{chaudère}$

Si la même chaudière est utilisée pour le chauffage et l'eau chaude:

$$\eta_{chaudière} = \frac{\eta_i}{1 + \left(\frac{t - t_u - t'_u}{\frac{t_u}{C_1} + \frac{t'_u}{C'_1}} \right)}$$

(Equation V.48)

C_1 est un coefficient prenant en compte les pertes de veille [CSTB, 1988] :

$$C_i = \frac{P_{rc} + (1 - R_p) P_p}{P_n + P_{rc} - R_p P_p}$$

(Equation V.49)

(même définition pour C_1' pour l'ECS avec P'_n)

avec

η_i est le rendement de génération à pleine charge

P_{rc} représente les pertes à l'arrêt (W)

P_p et R_p représentent le débit calorifique de la veilleuse (en W, par défaut 150 W) et son facteur de récupération (par défaut 0.6)

Si deux générateurs différents sont utilisés pour le chauffage et l'eau chaude :

$$\eta_{chauffage} = \frac{\eta_i}{1 + C_1 \left(\frac{t}{t_u} - 1 \right)}$$

$$\eta'_{eau\ chaude} = \frac{\eta'_i}{1 + C'_1 \left(\frac{t'}{t'_u} - 1 \right)}$$

(Equations V.50, 51)

où η_i *(η'_i)* est l'efficacité instantanée du système de chauffage (du générateur d'ECS) (charge 100 %)

- Calcul de la consommation globale en énergie:

Si la production de chauffage et d'eau chaude est mixte :

$$Q_{gc} = \frac{Q_{ge} + Q'_{ge}}{\eta_{chaudière}} = \frac{Q_{gh}}{\eta_{chaudière}\eta_c\eta_e} + \frac{Q'_w}{\eta_{chaudière}\eta_d\eta_d} \qquad \text{(Equation V.52)}$$

Si la production de chauffage est séparée de celle de l'eau chaude :

$$Q_{gc} = \frac{Q_{ge}}{\eta_{chauffage}} + \frac{Q'_{ge}}{\eta'_{eau\ chaude}} \qquad \text{(Equation V.53)}$$

V.4.4. Définition de la consommation "Standard "

Pour la consommation standard, les données suivantes doivent être utilisées:

- Comportement standard des occupants en terme de gains gratuits : 5W/m² [CEN, 1998]et de besoins en ECS: 21 kWh/m²[CSTB, 1988] ;
- Température de consigne fixe: 19 °C ;
- Taux minimum de renouvellement d'air : 0.5 h^{-1} ;
- Climat standard fonction de la zone géographique.

Le calcul de la consommation standard dérive des équations précédentes sur une base mensuelle. Un exemple du résultat final de l'outil est donné par la figure V.13.

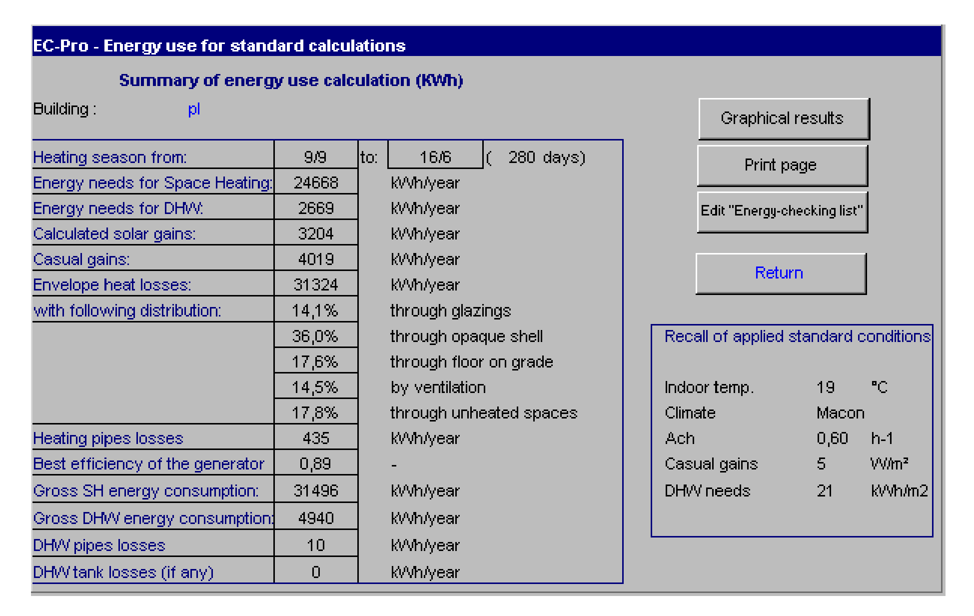


Figure V.13: Exemple d'écran de résultats de la consommation standard

V.4.5. Définition de la consommation "réelle"

Pour le calcul de la consommation réelle, les données suivantes sont considérées:

- Climat local ;
- Température intérieure réelle, obtenue soit à partir de l'indication du thermostat soit à partir des mesures sur site ;
- Quand il y a intermittence : la température, le type et la durée d'intermittence ;
- Les gains internes et les besoins en ECS sont calculés à partir du comportement réel des occupants.

Le calcul des gains internes nécessite l'utilisation du questionnaire électronique pour avoir les informations sur le comportement des occupants et analyser les données des mesures.

Les résultats de ce calcul (quantité des gains internes par mois et les besoins en ECS) sont transférés à l'outil de calcul.

La consommation réelle est ensuite donnée par l'outil sous forme d'un écran (figure V.14).

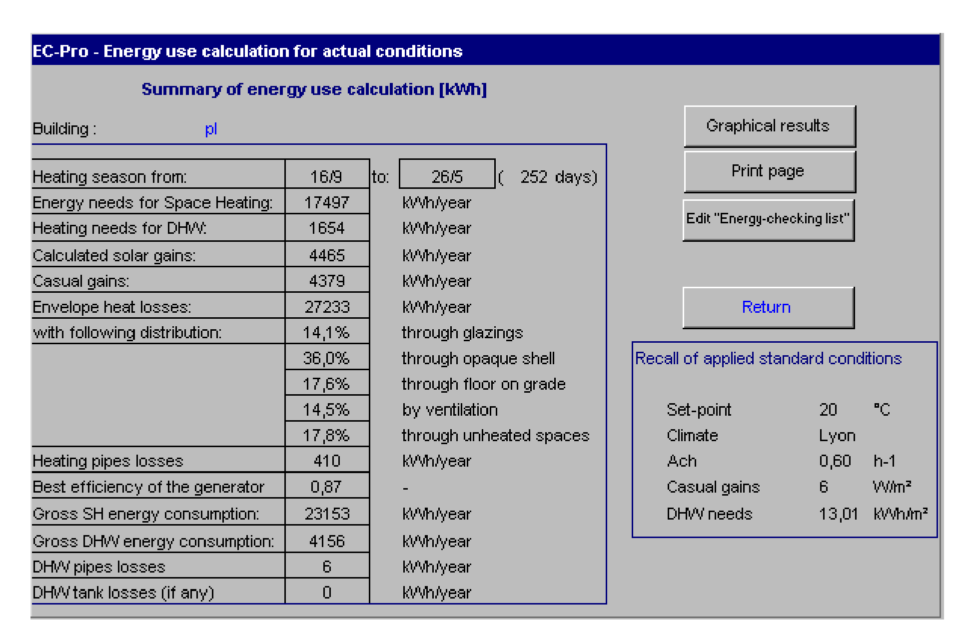


Figure V.14: Exemple d'écran de résultats de la consommation réelle

V.4.6. Calcul des économies d'énergie 'ECO'

Le calcul des économies d'énergie ('ECO') est basé sur la consommation réelle (égale à la consommation standard si le comportement des occupants n'a pas été défini). Chaque économie potentielle est calculée par la différence entre la consommation réelle de départ et la consommation obtenue après amélioration des composants selon un processus itératif :

- Parois opaques
- Parois vitrées
- Système de chauffage
- Comportement des occupants

Définition de l'amélioration thermique pour chaque paroi opaque:

Si $U > U_{limit}$ (avec U_{limit} *est* le seuil à partir duquel on demande une amélioration de U défini pour chaque pays), alors U est remplacé par une nouvelle valeur égale à:

- U_{eco} si elle a été spécifiée dans les données d'entrée
- $U_{eco} = \frac{1}{U} + \frac{e_i}{\lambda_i}$ dans les autres cas (Equation V.54)

où e_i est l'épaisseur de la couche d'isolation à ajouter donnée par :

$$e_i = \max\left(e_{i_\min} ; \lambda_i \left(\frac{1}{U_{perf}} - \frac{1}{U}\right)\right) \qquad \text{(Equation V.55)}$$

avec e_{i_min} est l'épaisseur minimale de l'isolant (cm)

U_{perf} est la valeur optimale de U dépendant des standards nationaux (W/m²K)

La capacité et les ponts thermiques sont également remplacés par des valeurs correspondant au nouveau mur isolé. Le coût de l'investissement est calculé en multipliant le coût par mètre carré par la surface du mur.

Pour le cas européen, nous avons utilisé les valeurs d'isolation proposées dans les « solutions techniques » pour une maison individuelle (tableau V.7) [CSTB, 1988]. Ces valeurs sont à adapter au niveau de chaque pays et selon les zones climatiques. Pour le Liban, nous essaierons d'utiliser des valeurs qui seront expliquées dans le chapitre VI.

Type de surface	U_{limit} (W/m²K)	U_{perf} (W/m²K)	e_{i_min} (cm)
Mur vertical	0.5	0.35	6
Toiture horizontale	0.35	0.25	16
Plancher élevé	0.65	0.35	6
Vitrage	4	1.9	-
Partition verticale opaque	0.65	0.65	-
Partition horizontale opaque (plafond)	0.35	0.35	-
Partition horizontale opaque (plancher)	0.65	0.65	-
Partition transparente	4	-	-
Plancher sur sol	0.45	0.35	-

Tableau V.7: Liste des différentes valeurs utilisées pour le calcul des économies d'énergie en Europe

Définition de l'ECO pour chaque vitrage:

Si $U > U_{limit}$ alors U est remplacée par U_{eco} (précisée dans les données d'entrée).

Les facteurs solaires et d'encadrement sont également remplacés. Le coût de l'investissement est calculé en multipliant le coût par mètre carré par la surface du vitrage.

Définition des améliorations thermiques du système de chauffage :

Les mesures d'économie d'énergie utilisées concernent les données suivantes :

- Température de contrôle

Si la température de consigne est supérieure à 19 °C, nous la réduisons à 19 °C.

S’il n’y a pas d’intermittence, nous proposons un ralenti de nuit à 17°C.

- Isolation des conduites :

Si les conduites sont situées dans un espace non chauffé ou à l’extérieur, et si l’épaisseur de l’isolation est inférieure à une valeur choisie e_{perf}, nous devons alors utiliser $e_i = e_{perf}$ (prise égal à 30 mm)

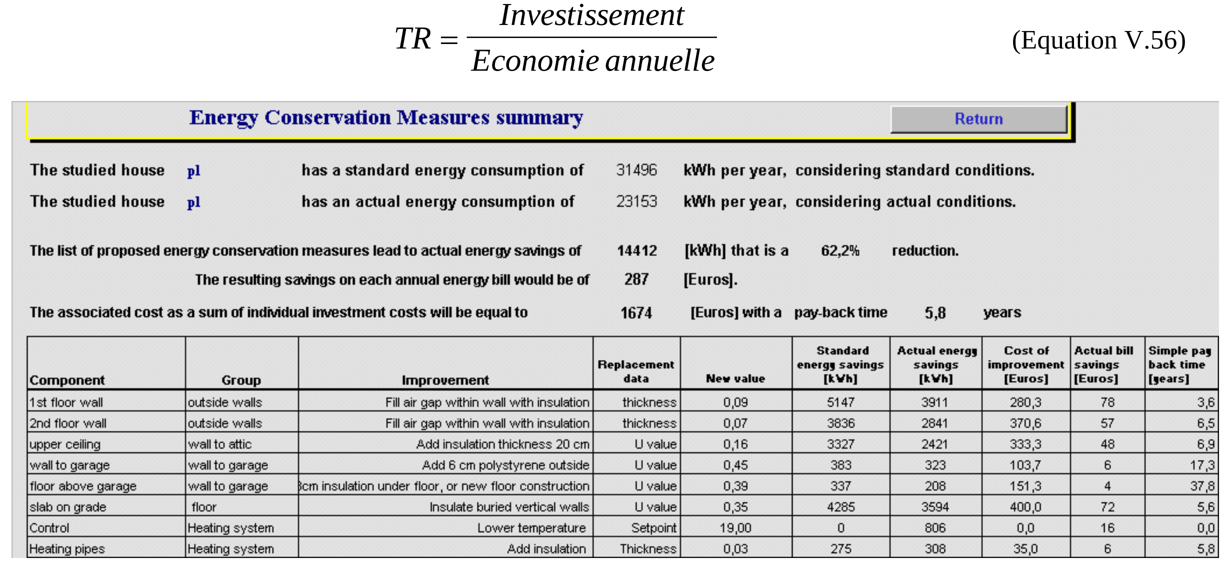
- Rendement de génération :

Si le système de chauffage est jugé non performant (rendement bas, puissance supérieure à ce qui est nécessaire) alors un nouveau système est proposée dont l’efficacité η_{eco} vient remplacer celle du système existant. La puissance de chauffage peut également être adaptée aux besoins réels.

La liste des mesures d’économie d’énergie est proposée dans un premier temps pour l’ensemble des composants, avec les coûts d’investissement et les économies d’énergie réalisables par chaque mesure prise indépendamment des autres. L’usager peut alors choisir les mesures qui lui apparaissent les plus intéressantes parmi cette liste.

Le calcul final reprend la combinaison des ECO retenues en les combinant dans l’ordre suivant : amélioration de l’enveloppe, puis des composants du système de chauffage et finalement la température de contrôle (figure V.15). Les économies d’énergie sont converties en économie annuelle d’argent et le temps de retour brut TR est calculé par :

$$TR = \frac{Investissement}{Economie\ annuelle} \qquad \text{(Equation V.56)}$$



Energy Conservation Measures summary

Return

The studied house pl has a standard energy consumption of 31496 kWh per year, considering standard conditions.

The studied house pl has an actual energy consumption of 23153 kWh per year, considering actual conditions.

The list of proposed energy conservation measures lead to actual energy savings of 14412 [kWh] that is a 62,2% reduction.

The resulting savings on each annual energy bill would be of 287 [Euros].

The associated cost as a sum of individual investment costs will be equal to 1674 [Euros] with a pay-back time 5,8 years

Component	Group	Improvement	Replacement data	New value	Standard energy savings [kWh]	Actual energy savings [kWh]	Cost of improvement [Euros]	Actual bill savings [Euros]	Simple pay back time [years]
1st floor wall	outside walls	Fill air gap within wall with insulation	thickness	0,09	5147	3911	280,3	78	3,6
2nd floor wall	outside walls	Fill air gap within wall with insulation	thickness	0,07	3836	2841	370,6	57	6,5
upper ceiling	wall to attic	Add insulation thickness 20 cm	U value	0,16	3327	2421	333,3	48	6,9
wall to garage	wall to garage	Add 6 cm polystyrene outside	U value	0,45	383	323	103,7	6	17,3
floor above garage	wall to garage	3cm insulation under floor, or new floor construction	U value	0,39	337	208	151,3	4	37,8
slab on grade	floor	Insulate buried vertical walls	U value	0,35	4285	3594	400,0	72	5,6
Control	Heating system	Lower temperature	Setpoint	19,00	0	806	0,0	16	0,0
Heating pipes	Heating system	Add insulation	Thickness	0,03	275	308	35,0	6	5,8

Figure V.15: Exemple d’écran de résultats des mesures d’économie d’énergie

V.5. Le certificat proposé

La présentation du certificat a été définie en considérant les résultats des enquêtes réalisées auprès des occupants en Europe et au Liban. En montrant aux gens différentes formes de certificats existants, nous avons pu déceler les informations souhaitées.
Au Liban (voir annexe III.a), les informations jugées très utiles ou utiles concernent : les caractéristiques du logement (74%), la consommation énergétique (79%), la consommation par usages (71%)et les performances des appareils domestiques et des lampes (77%).

Nous avons alors proposé un certificat formé de deux pages :

- La première page (figure V.16) comprend :
    - Des informations générales concernant le logement étudié (adresse, date de construction, type, surface, types des parois et des fenêtres et types des systèmes de chauffage et d'eau chaude) ;
    - La consommation énergétique annuelle pour des conditions standard, le coût énergétique annuel, et un indicateur de la performance selon une échelle de consommation d'énergie par surface chauffée et le coût annuel avec la surface du plancher (cette échelle est à établir pour chaque pays par rapport à la typologie de l'habitat et les performances souhaitées par les pouvoirs publics) ;
    - La consommation réelle, son coût et la répartition selon les différents postes de consommation (chauffage, eau chaude sanitaire, abonnement et maintenance, appareils domestiques et éclairage).

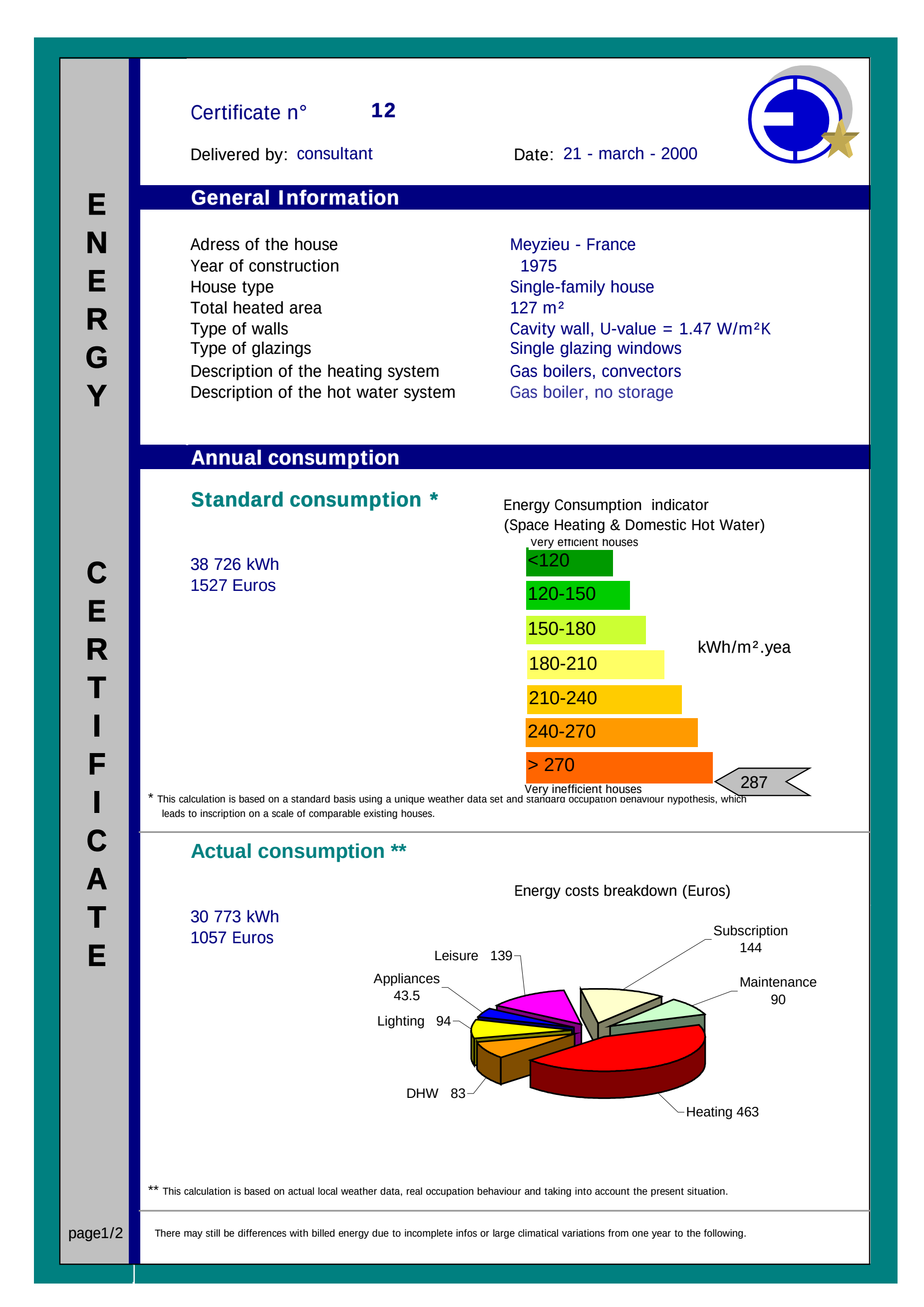
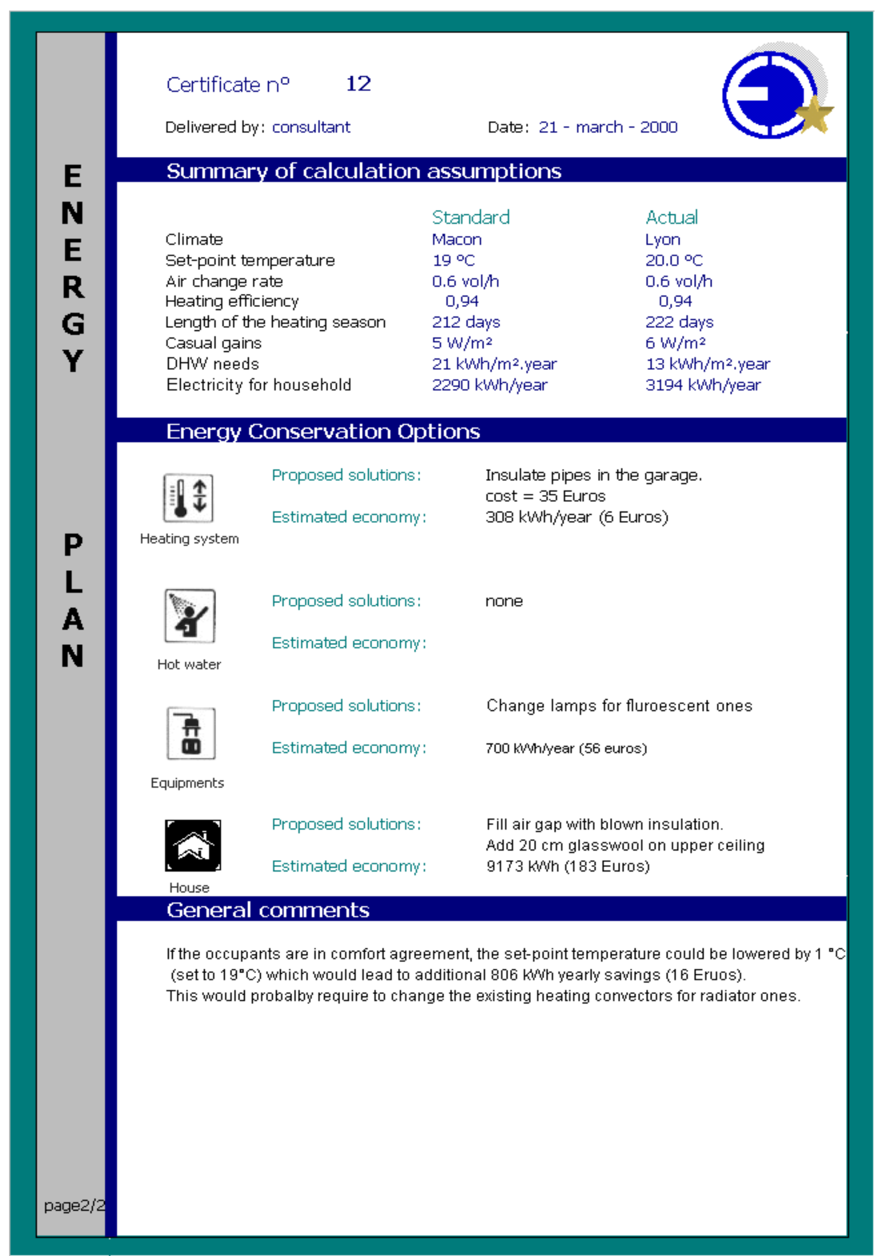


Figure V.16: Exemple de la première page du certificat proposé

- La deuxième page (figure V.17)comprend :
  - Un sommaire des données et des conditions du calcul pour des consommations standard et réelle ;
  - Les mesures d'économies d'énergie possibles pour les systèmes, l'enveloppe et les équipements ;
  - Des commentaires et des informations jugés utiles par le technicien.


ENERGY PLAN

Certificate n° 12

Delivered by: consultant   Date: 21 - march - 2000

Summary of calculation assumptions

	Standard	Actual
Climate	Macon	Lyon
Set-point temperature	19 °C	20.0 °C
Air change rate	0.6 vol/h	0.6 vol/h
Heating efficiency	0,94	0,94
Length of the heating season	212 days	222 days
Casual gains	5 W/m²	6 W/m²
DHW needs	21 kWh/m².year	13 kWh/m².year
Electricity for household	2290 kWh/year	3194 kWh/year

Energy Conservation Options

Heating system
Proposed solutions: Insulate pipes in the garage.
cost = 35 Euros
Estimated economy: 308 kWh/year (6 Euros)

Hot water
Proposed solutions: none
Estimated economy:

Equipments
Proposed solutions: Change lamps for fluroescent ones
Estimated economy: 700 kWh/year (56 euros)

House
Proposed solutions: Fill air gap with blown insulation.
Add 20 cm glasswool on upper ceiling
Estimated economy: 9173 kWh (183 Euros)

General comments

If the occupants are in comfort agreement, the set-point temperature could be lowered by 1 °C (set to 19°C) which would lead to additional 806 kWh yearly savings (16 Eruos).
This would probalby require to change the existing heating convectors for radiator ones.

page2/2

Figure V.17: Exemple de la deuxième page du certificat proposé

Interprétation

Le certificat énergétique reste un document complexe car il doit contenir un ensemble d'informations servant à différents usages:

- Lors de la vente ou de la location d'un logement, les gens s'intéressent à la comparaison des coûts énergétiques sur une base identique, ce qui est offert par le calcul standard et l'indice de performance. Les économies associées sont chiffrées en investissement et incidences énergétiques pour compléter cette information.

- Les occupants d'un logement cherchent à comprendre et à réduire leur consommation. Cette information est donnée par la consommation réelle calculée à partir des données concernant le

comportement des occupants. Les économies d'énergie potentielles sont chiffrées en investissement et en économies et documentées sur la deuxième page.

V.6. Conclusion

En nous appuyant sur les méthodes de certification existantes présentées au chapitre précédent et sur l'introduction d'éléments d'analyse sur site, nous avons élaboré une procédure de calcul des consommations pour les bâtiments résidentiels. Nous avons montré en premier lieu la possibilité et l'importance d'une phase d'analyse sur site. Nous avons ensuite décrit étape par étape les algorithmes de calcul et la structure du programme. Nous avons ainsi défini les différences de calculs entre consommations standard et réelle et proposé une méthode pour le calcul automatique des économies d'énergie potentielles.

La procédure que nous avons présentée a l'originalité de considérer le bâtiment, ses systèmes, ses appareils et son mode d'occupation comme un ensemble. En outre, sa structure nous a permis de l'appliquer au Liban en sus des pays Européens concernés par le projet EC-Pro.

Chapitre VI

Mise en œuvre et étude de sensibilté de EC-Pro

VI.1. Introduction

Il ne s'agit pas dans ce chapitre d'une validation d'un outil de simulation mais d'une étude de validité de l'outil d'évaluation ou d'aide au choix EC-Pro. Le premier objectif est de prouver l'applicabilité de EC-Pro et d'évaluer ses limites et ses avantages pour son domaine d'application.

Le second objectif est de justifier le choix de la phase d'analyse sur site et de mesures en identifiant les paramètres à soigner lors de l'utilisation de EC-Pro. Pour ce faire, nous présentons les principaux résultats de l'étude de 14 logements en Europe effectuée dans le cadre du programme SAVE ainsi qu'une application complète dans quatre logements au Liban. Nous proposons ensuite une analyse de sensibilité par la méthode des plans d'expérience qui permettra d'étudier la sensibilité des résultats aux différents paramètres d'entrée

VI.2. Notion de validation

En général, la validation est définie comme étant une procédure permettant de s'assurer de l'exactitude théorique et physique des méthodes de calcul et des procédures mathématiques et numériques de résolution [Aude P., 1997].

Deux types d'erreurs liées à l'application des modèles de calcul peuvent être distingués: les erreurs internes qui sont dues au fait qu'un modèle est toujours une approximation de la réalité, et les erreurs externes qui viennent des paramètres d'entrée.

Trois principales techniques de validation peuvent être utilisables. Elles correspondent à:

- la validation par analogie qui consiste à comparer le modèle à d'autres modèles ;
- la validation par empirisme qui consiste à comparer les données issues de simulations numériques à des données expérimentales. La démarche de validation doit permettre l'identification des causes de différences entre mesures et simulations. Dans le cas du bâtiment, cela nécessite très souvent des moyens techniques et financiers conséquents ;
- l'analyse de sensibilité qui consiste à tester et à perturber la valeur de certains paramètres et à observer l'effet sur la sortie.

VI.2.1. Problématique liée à EC-Pro

La démarche classique de validation, qui nécessite de comparer les résultats du modèle avec des résultats expérimentaux et d'évaluer l'incertitude des résultats et des mesures [Furbringer J.M., 1994], ne peut pas être appliquée dans le cas de EC-Pro. En effet, EC-Pro n'est pas un outil de simulation mais un outil d'évaluation et éventuellement d'aide au choix. Le climat seul est susceptible de varier entre le calcul conventionnel et la réalité.
Cependant, une application in-situ permet de prouver l'applicabilité de la procédure ainsi que ses limites et ses avantages. Cette étape nous fournit également des informations sur les paramètres difficiles à déterminer, la durée réelle de chaque phase et sur les améliorations possibles. L'étude détaillée de quatre logements au Liban sert à montrer les particularités liées à l'application de la procédure au Liban.

Par ailleurs, l'application de EC-Pro induit l'utilisation d'un nombre élevé de paramètres décrivant le bâtiment étudié (géométrie, caractéristiques thermiques, conditions climatiques, systèmes, mode d'occupation, type des équipements, etc). La plupart de ces paramètres ne sont pas connus ou sont déterminés avec une faible précision. Leur connaissance, indispensable au fonctionnement du calcul, est basée sur un certain nombre de méthodes (visite sur site, mesures, questionnaire auprès des occupants, bibliographie, statistiques, Atlas climatique ainsi que les compétences du technicien). La question se pose alors sur l'effet de cette précision limitée des données d'entrée sur la précision des résultats. Il est donc judicieux de concentrer l'effort sur la détermination des paramètres prépondérants, et évaluer dans quelle mesure leur précision affecte le résultat.
C'est sur l'influence de la précision de quelques entrées que sera jugée l'importance de la phase de mesures et d'analyse sur site que nous proposons dans la procédure.
Cette question de confiance des résultats peut être appréhendée à l'aide de l'analyse de sensibilité dont le produit permet de discerner parmi tous les paramètres ceux qui ont une influence prépondérante sur les résultats [Aude P., 1997].

VI.3. Résultats de l'application à 14 logements en Europe

Dans le cadre du programme SAVE [2000], la procédure développée a été appliquée à 14 cas en Europe pendant l'hiver 98-99 et l'hiver 99-00. Pour chaque logement, nous avons calculé

les consommations standard et réelle (annexe VI.a) et avons proposé des mesures d'économies d'énergie. L'écart entre la consommation standard et réelle peut atteindre dans certains cas +150 kWh/m². Les résultats ont été ensuite comparés aux factures énergétiques. Nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence entre le calcul de la consommation en énergie de chauffage et celle donnée par la facture sauf dans certains cas (par exemple, dans le cas où l'utilisation du bois pour le chauffage n'a pas été prise en compte à cause du manque de données). La valeur de la consommation électrique est également bien estimée quand toutes les données nécessaires sont disponibles (consommation des appareils, durée d'utilisation des lampes, etc).

Les principales difficultés rencontrées peuvent être résumées par les points suivants:

- Le calcul de la température moyenne n'est pas toujours facile (exemples : quand les occupants ouvrent souvent les fenêtres, quand il y a une grande différence de température entre les pièces à cause d'une cheminée, etc) ;
- La détermination des propriétés thermophysiques des composants du bâtiment qui sont parfois non connues ;
- La présence de pièces chauffées dans des espaces normalement non chauffés (exemples :garage, toiture, cave) ;
- La présence d'espaces tampons constitués d'espaces non chauffés dans lesquels se trouvent la chaudière. Dans ce cas, le calcul du facteur *b* à partir de la température mesurée ou à partir des déperditions de l'espace non chauffé n'est plus valide à cause des apports de chaleur par la chaudière qui sont pour l'instant non comptabilisés.

Parmi les économies d'énergie réalisables dans les anciennes et les nouvelles maisons, nous pouvons citer :

- L'amélioration de l'isolation de l'enveloppe et des partitions avec les espaces non chauffés ;
- Le contrôle du système de chauffage ;
- Le remplacement des appareils producteurs de froid par d'autres plus performants.

Cette application a montré que la procédure est capable de donner une description complète de la facture énergétique quand toutes les données nécessaires sont disponibles (la vraie température intérieure, les propriétés des matériaux, etc).

Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer au rapport final du projet SAVE [2000].

Nous présentons à titre d'exemple le cas d'une maison en France (figure VI.1). Il s'agit d'une maison individuelle de 127 m² de surface habitable, occupée par deux adultes et trois enfants. La maison a été bâtie en 1975 juste avant l'application de la réglementation thermique française. Une chaudière gaz est utilisée pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.



Figure VI.1: Façade nord-est de la maison étudiée en France

La consommation standard calculée est de 286.9 kWh/m² et la consommation réelle est de 215 kWh/m² avec 27.3 kWh/m² en électricité. La comparaison avec la facture montre une bonne estimation de l'énergie de chauffage et d'eau chaude sanitaire (la facture est supérieure de 1226 kWh par rapport à la consommation réelle). Pour la facture électrique, nous ne disposions que des factures pour 10 mois, ce qui peut expliquer une consommation calculée supérieure de 23.6% par rapport à la facture électrique. En appliquant les mesures d'économie d'énergie proposées pour cette maison (isolation du plafond, isolation du mur mitoyen entre la maison et le garage, remplacement du réfrigérateur et du lave-vaisselle par d'autres plus performants), la consommation est réduite à 101.6 kWh/m² avec 21.3 kWh/m² en électricité. L'économie atteint dans ce cas 50 %.

VI.4. Application dans quatre logements au Liban

Nous avons ensuite appliqué EC-Pro dans quatre logements au Liban pendant l'hiver 2000. Une maison individuelle et trois appartements ont été étudiés sur une durée d'une semaine :

- Logements 1 et 2 situés à Ballouné- Kesrouan : du 13/02/2000 au 20/02/2000
- Logements 3 et 4 situés à Tripoli : du 20/02/2000 au 27/02/2000

VI.4.1. Présentation des logements et des mesures

VI.4.1.1. Logement 1

Le logement étudié est une maison individuelle de 180.8 m² située à Ballouné (figures VI.2, VI.3, VI.4 et VI.5). Cette maison a été construite en 1983 et elle est occupée par 4 personnes (2 adultes et 2 enfants). Une chaudière à mazout est utilisée pour le chauffage (21 kW) et pour l'eau chaude sanitaire (53 kW). Le climat correspond à celui de la zone moyenne.



Figure VI.2: Façade principale du logement 1



Figure VI.3: Salon du logement 1

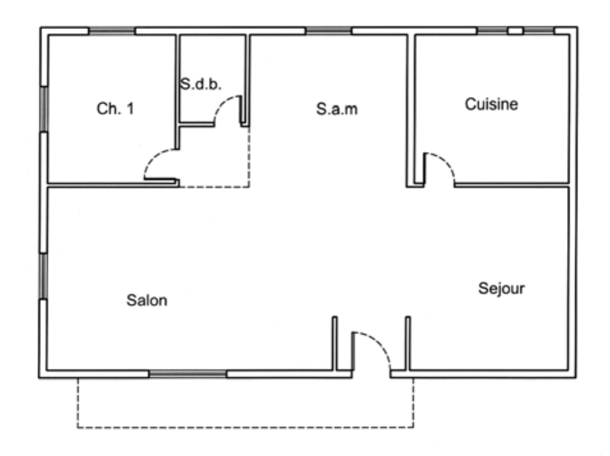


Figure VI.4: Plan RDC du logement 1

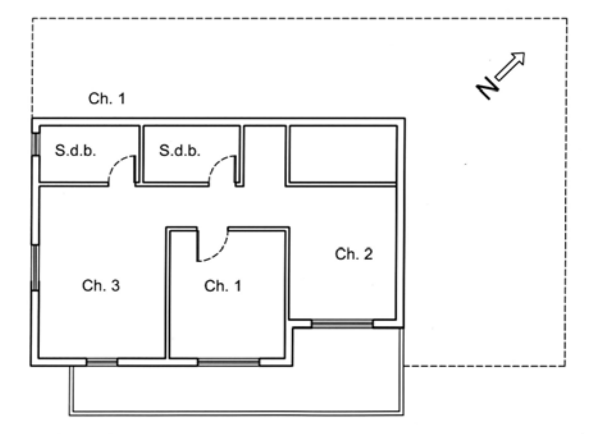


Figure VI.5: Plan 1er étage du logement 1

Les murs extérieurs sont formés :

- au RDC : (de l'intérieur à l'extérieur) 1.5 cm de ciment + parpaings de 20 cm + 10 cm de pierre
- au 1er étage : (de l'intérieur à l'extérieur) 1.5 cm ciment + parpaings de 10 cm + 5 cm d'air + parpaings de 15 cm + 8 cm de pierre

Les parois intérieures sont formées de blocs creux de 10 cm avec 1.5 cm de ciment de chaque côté. Le vitrage est simple de 4 mm d'épaisseur avec un cadre en aluminium. Le plancher est non isolé et est situé sur terre plein. La toiture est non isolée, elle est formée de hourdis (20

cm) et d'une chape de béton. Toutes les parois sont en contact avec l'extérieur sauf celles orientées NE (et NO au premier étage) qui sont en contact avec un autre bâtiment.

La température intérieure est mesurée par les Tinytag dans toutes les pièces (figure VI.6). Ces mesures montrent une différence de température entre les pièces. La température intérieure moyenne est de 19.6°C.

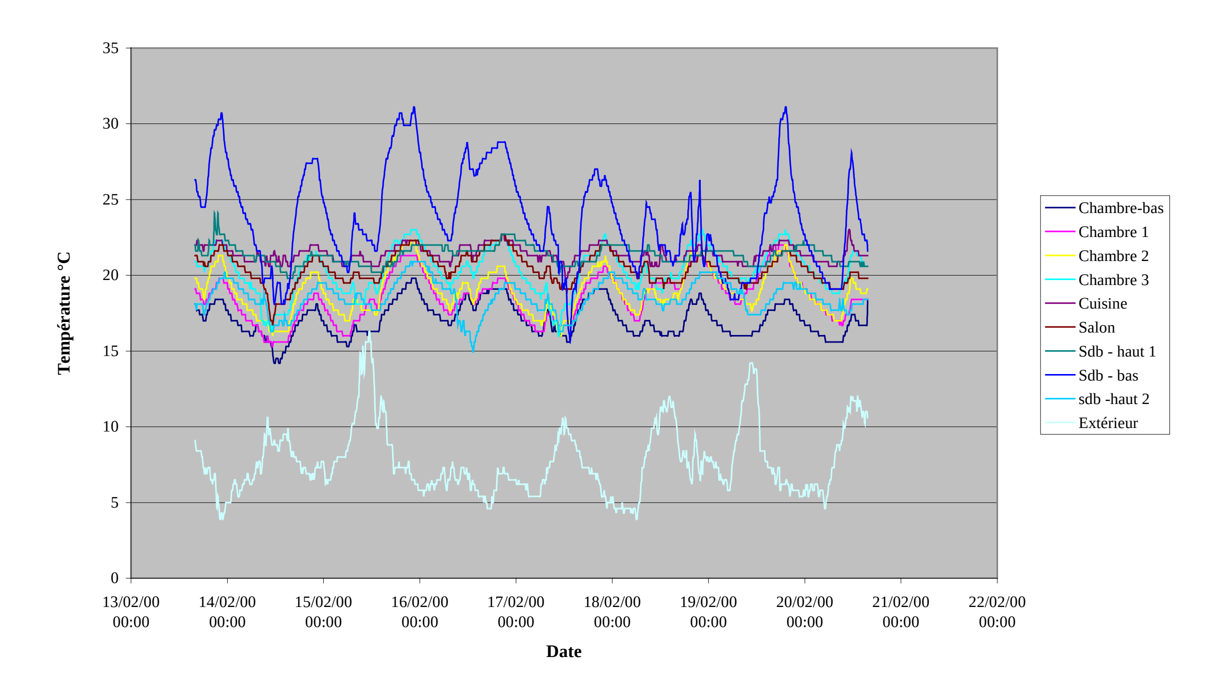


Figure VI.6 : Mesures des températures intérieures et extérieures dans le logement 1

Nous remarquons des pics de température élevée pour la salle de bain du bas (avec un maximum de 30°C), ce qui est dû à l'utilisation d'un radiateur lors des bains le soir. La température minimale est observée dans la chambre du bas qui est rarement utilisée, donc non chauffée.

L'humidité relative est mesurée dans les pièces la plus utilisées : la cuisine et le salon. La figure VI.7 montre des valeurs importantes d'humidité pouvant atteindre 58% dans le salon et 72% dans la cuisine.

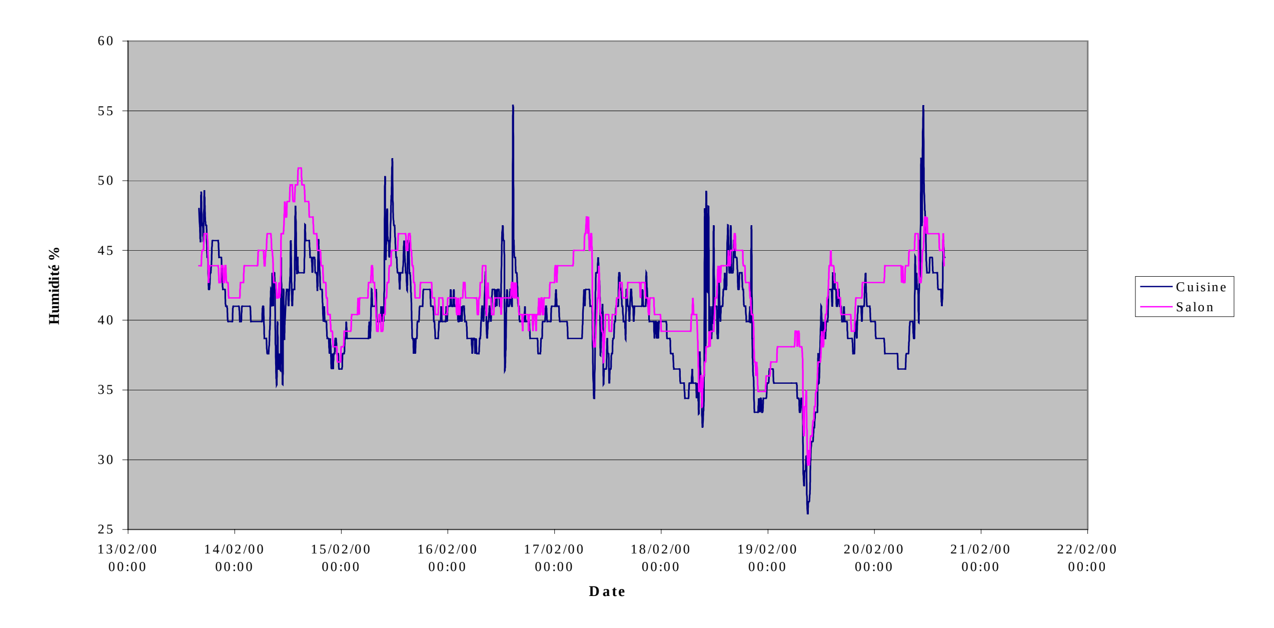


Figure VI.7: Mesures de l’humidité relative dans le logement 1

Les lampes utilisées sont des lampes à incandescence à l’exception de la cuisine où il y a une lampe fluorescente. La durée de l’éclairage est mesurée par les HOBO pour les lampes principales au nombre de 11 (tableau VI.1). La comparaison de ces valeurs avec les informations fournies par les occupants montre que les occupants arrivent à estimer la durée d’utilisation des lampes avec une marge d’erreur acceptable (une moyenne d’erreur de +8.8% entre l’estimation et les mesures). La consommation annuelle pour l’éclairage est de 854 kWh/an avec les données mesurées.

Jour	Date / h	Chambre 1	Chambre2	Chambre3	cha_bas	Cuisine	Salon 1	Sam	Sdb_bas	Sdb_haut1	Sdb_haut	Séjour
dimanche	13/2/00 17:15	0,08	4,00	0,00	0,00	5,17	0,58	0,83	0,08	0,08	0,58	5,33
lundi	14/2/00 23:55	0,42	4,42	0,50	0,00	15,75	0,00	0,00	0,17	1,58	1,75	14,83
mardi	15/2/00 23:55	1,83	2,92	0,17	1,17	13,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,92	7,17
mercredi	16/2/00 23:55	3,17	4,42	0,17	0,00	11,83	0,50	0,50	0,00	1,17	1,00	11,33
jeudi	17/2/00 23:55	0,08	3,75	0,17	0,00	6,00	1,42	0,00	0,08	1,25	1,25	9,08
vendredi	18/2/00 23:55	0,00	1,75	4,00	0,75	12,42	2,50	0,33	0,17	0,50	1,00	7,50
samedi	19/2/00 23:55	0,00	0,83	0,00	0,08	24,00	0,00	0,50	0,17	1,33	0,50	6,25
dimanche	20/2/00 16:15	0,00	0,00	0,00	0,00	16,17	0,00	0,00	0,17	0,83	0,33	0,83

Tableau VI.1: Durée d’utilisation des lampes (en heures) dans les différentes pièces du logement 1

Les appareils électriques comprennent : deux réfrigérateurs, un lave-linge, un sèche-linge, un lave-vaisselle, un aspirateur, un fer à repasser, un micro-onde, une télévision, un magnétoscope, trois chaînes hi-fi et un ordinateur. Des mesures en continu par le système DIACE permettent de connaître les puissances appelées pour les 10 appareils les plus utilisés. Les discontinuités des courbes sont dues à des coupures d’électricité (figure VI.8). La puissance des autres appareils est mesurée par les ELV qui permettent de réaliser des mesures

cumulatives. La consommation annuelle des appareils est estimée à 3623 kWh/an compte tenu des mesures réalisées.

Les différentes données de calcul sont présentées dans l'annexe VI.a.

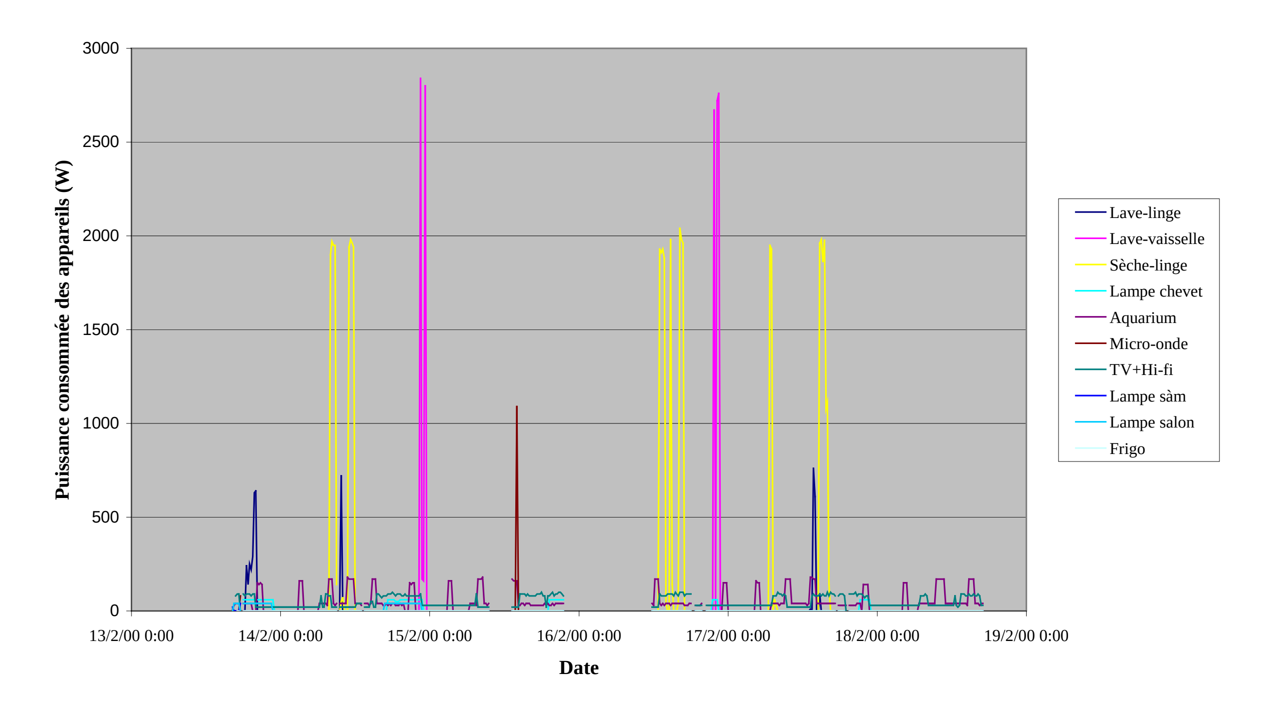


Figure VI.8 : Mesures de la puissance de quelques appareils dans le logement 1

VI.4.1.2. Logement 2

Pendant la même période, nous avons étudié un autre logement à Ballouné qui date de l'année 1995 (figures VI.9). Il s'agit d'un appartement de 95.5 m² occupé par 2 adultes et 2 enfants (figure VI.10). Il est chauffé par une chaudière à mazout de 15 kW. L'eau chaude sanitaire est également chauffée par une chaudière à mazout de 35 kW. Le ballon d'eau chaude a un volume de 250 l et est situé à l'intérieur de l'appartement.





Figure VI.9: Façade principale du logement 2

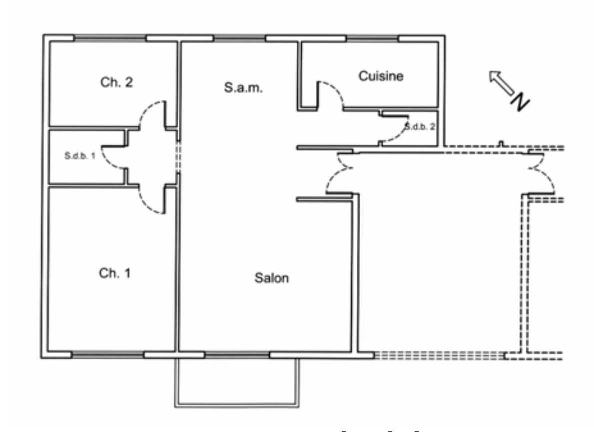


Figure VI.10: Plan du logement 2

Les murs extérieurs sont des murs courants formés de parpaings de 20 cm avec enduit ciment de 1.5 cm des deux côtés. Le plancher est situé sur terre plein et est formé de béton et de terrazo. La surface totale des fenêtres est de 16.24 m². Elles sont équipées d'un vitrage simple avec un cadre aluminium. Toutes les parois sont en contact avec l'extérieur sauf celle séparant le salon et le hall d'entrée. Le plafond est ne contact avec un appartement non chauffé car non occupé.

La température est mesurée par les Tinytag dans toutes les pièces (figure VI.11). La température intérieure moyenne est de 19.1°C. Le facteur *b* calculé pour le hall d'entrée est de 0.8.

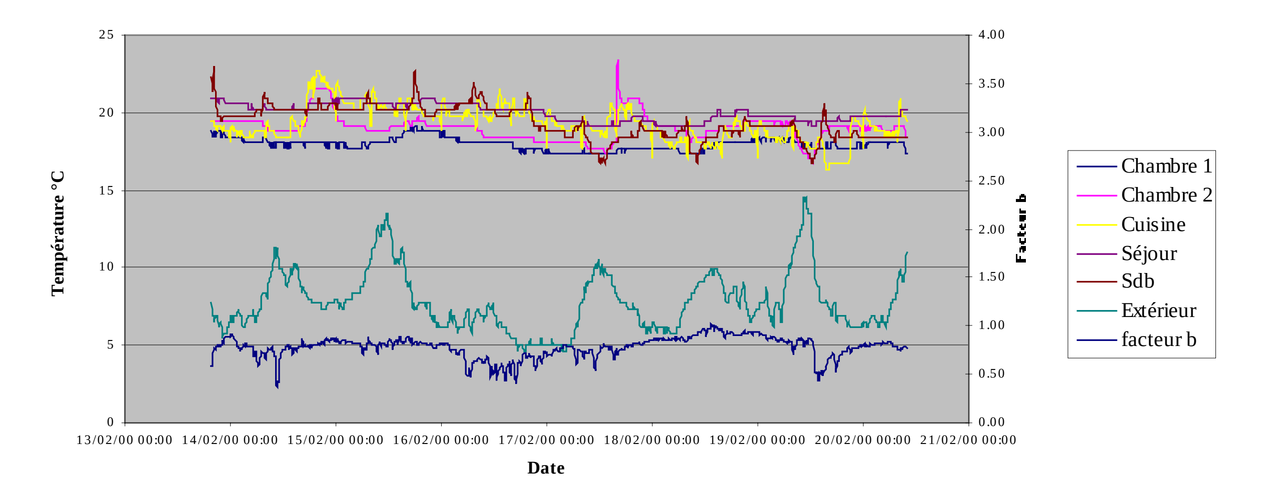


Figure VI.11: Mesures des températures intérieures et extérieures dans le logement 2

L'humidité relative est mesurée par les Tinytag dans la cuisine et la salle de bain (figure VI.12). Nous remarquons des pics élevés dans la salle de bain (dus aux bains et aux douches).

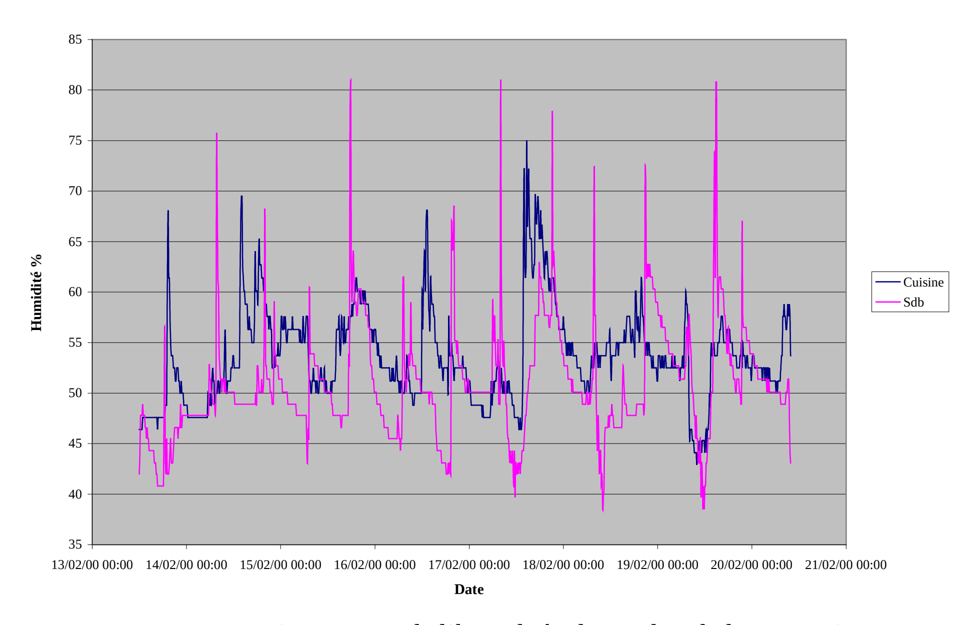


Figure VI.12 : Mesures de l'humidité relative dans le logement 2

L'humidité et le manque d'isolation conduisent dans la plupart des bâtiments au Liban à des condensations. Nous trouvons des condensations importantes dans la chambre à coucher des enfants.

Les lampes utilisées sont des lampes à incandescence avec une seule lampe fluorescente de 29W dans la cuisine. La durée de l'éclairage est mesurée par les HOBO pour 7 lampes. La comparaison entre les durées mesurées et celles évaluées par les occupants donne une moyenne d'erreur de +9.4%.

La puissance et la consommation des appareils ont été mesurées pour les appareils suivants : un réfrigérateur, un lave-vaisselle, un lave-linge, une télévision, un ordinateur, un magnétoscope, une chaîne hi-fi et un micro-onde. La consommation annuelle des appareils et de l'éclairage est estimée à 1779 kWh/an.

VI.4.1.3. Logement 3

Le logement 3 est un appartement ayant une surface de 181.7 m^2 situé à Tripoli (zone tempérée). Le bâtiment a été construit en 1972 (figures VI.13, VI.14 et VI.15). Le séjour est la seule pièce chauffée par un radiateur mobile à gaz. Le chauffage collectif à mazout existe mais n'est plus utilisé à cause de son coût. L'eau chaude sanitaire est chauffée à l'électricité. Le ballon est situé au-dessus de la salle de bain et a un volume de 150 l.



Figure VI.13: Façade principale du logement 3


Figure VI.14: Façade Sud-Est du logement 3

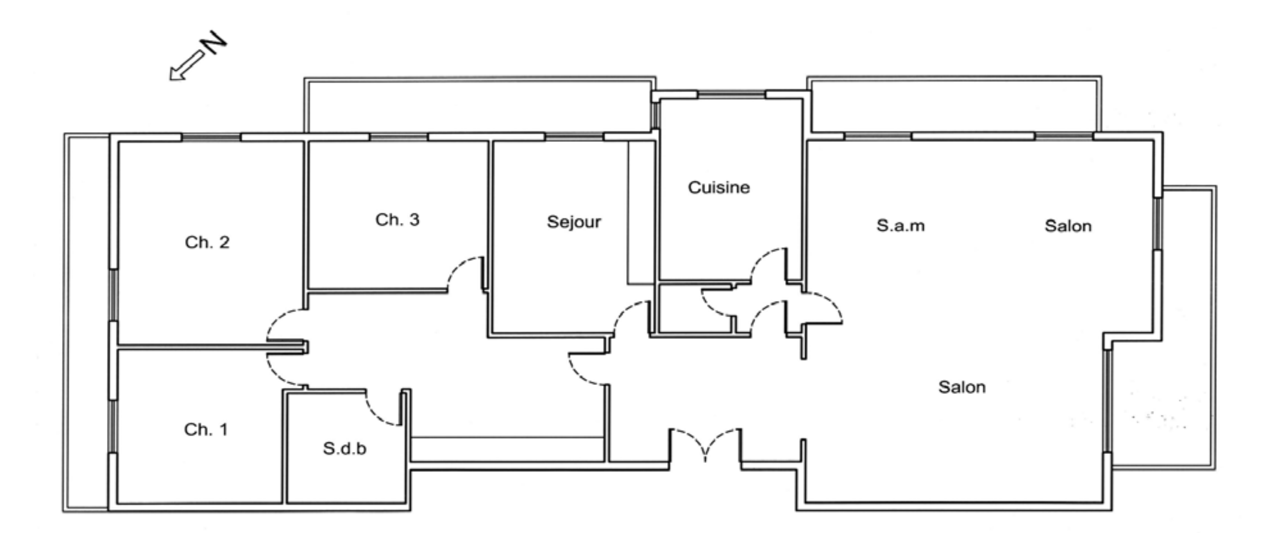


Figure VI.15: Plan du logement 3

Les murs extérieurs et intérieurs sont des murs courants. Le vitrage est simple avec cadre et volet en bois. Sa surface totale est de 44.31 m². Le plafond et le plancher sont en contact avec des locaux chauffés. Les parois NO sont en contact avec un espace non chauffé.

La température intérieure est mesurée par les Tinytag dans 8 pièces (figure VI.16). La température intérieure moyenne est de 18.9°C.

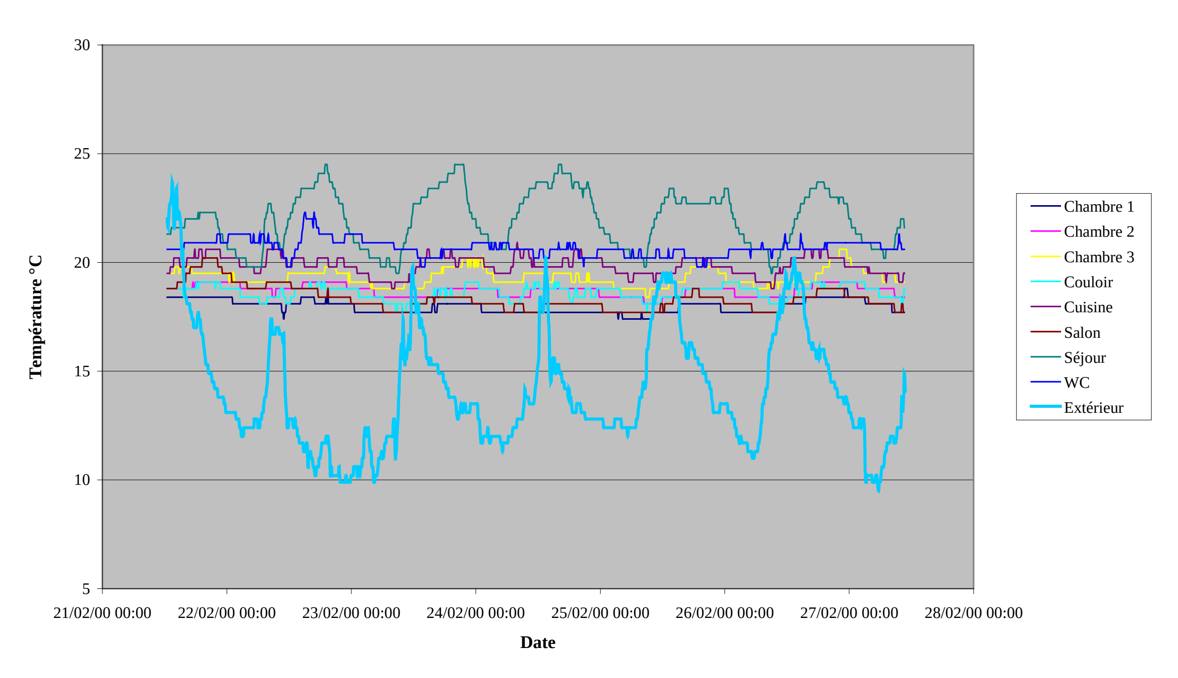


Figure VI.16: Mesures des températures intérieures et extérieures dans le logement 3

Le taux d'humidité relative mesuré par les Tinytag dans le séjour est acceptable (figure VI.17).

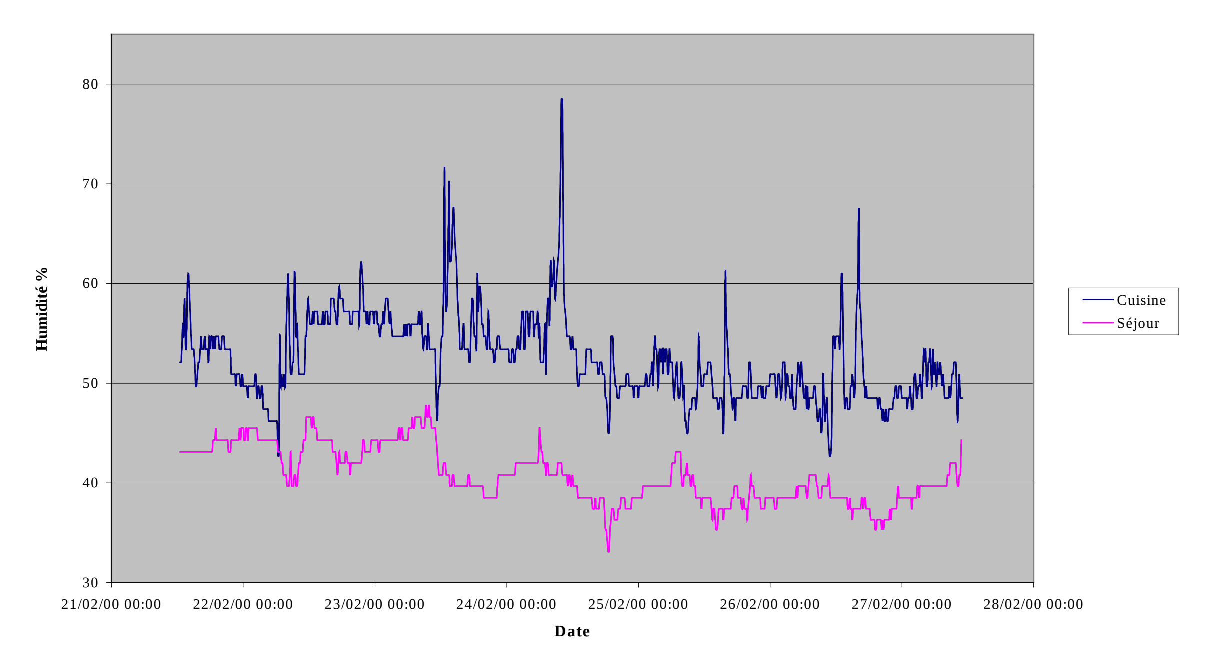


Figure VI.17 : Mesures de l'humidité relative dans le logement 3

Toutes les lampes sont incandescentes. La durée de l'éclairage est mesurée par les HOBO pour 10 lampes. L'erreur moyenne entre les mesures (tableau VI.2) et les valeurs fournies par les occupants est de -4.8%. La consommation annuelle en éclairage est de 2544.5 kWh/an. Elle représente 39 % des consommations en électricité.

Jour	Date / h	Chambre 1	Chambre2	Chambre3	Couloir	Cuisine	Entrée	Salon	Sam	séjour	WC
lundi	02/21/00 13:00	1,25	1,67	4,00	0,67	2,75	1,50	6,33	0,00	8,83	11,00
mardi	02/22/00 23:55:00.0	5,92	3,50	8,42	4,58	12,17	10,67	0,50	0,25	14,83	19,92
mercredi	02/23/00 23:55:00.0	5,25	4,25	12,00	3,67	7,33	8,25	0,08	0,00	13,33	23,17
jeudi	02/24/00 23:55:00.0	3,83	3,33	7,58	5,00	9,83	10,42	0,00	0,17	15,83	23,08
vendredi	02/25/00 23:45:00.0	2,33	2,33	6,42	2,92	6,50	8,17	0,67	0,00	12,67	23,17
samedi	02/26/00 23:55:00.0	7,42	3,92	6,58	9,00	11,00	10,92	0,00	0,58	16,83	22,75
dimanche	02/27/00 11:10:00.0	0,50	0,08	2,50	1,33	0,58	1,25	0,17	0,00	4,17	10,67

Tableau VI.2: Durées d'utilisation des lampes (en heures) dans les différentes pièces du logement 3

La puissance de 10 appareils domestiques est mesurée par le système DIACE (figure VI.18) . Les discontinuités des courbes sont dues à des coupures d'électricité ou à un manque de mémoire disponible. La puissance des autres appareils est mesurée par les ELV. La consommation annuelle des appareils est de 1199 kWh/an.

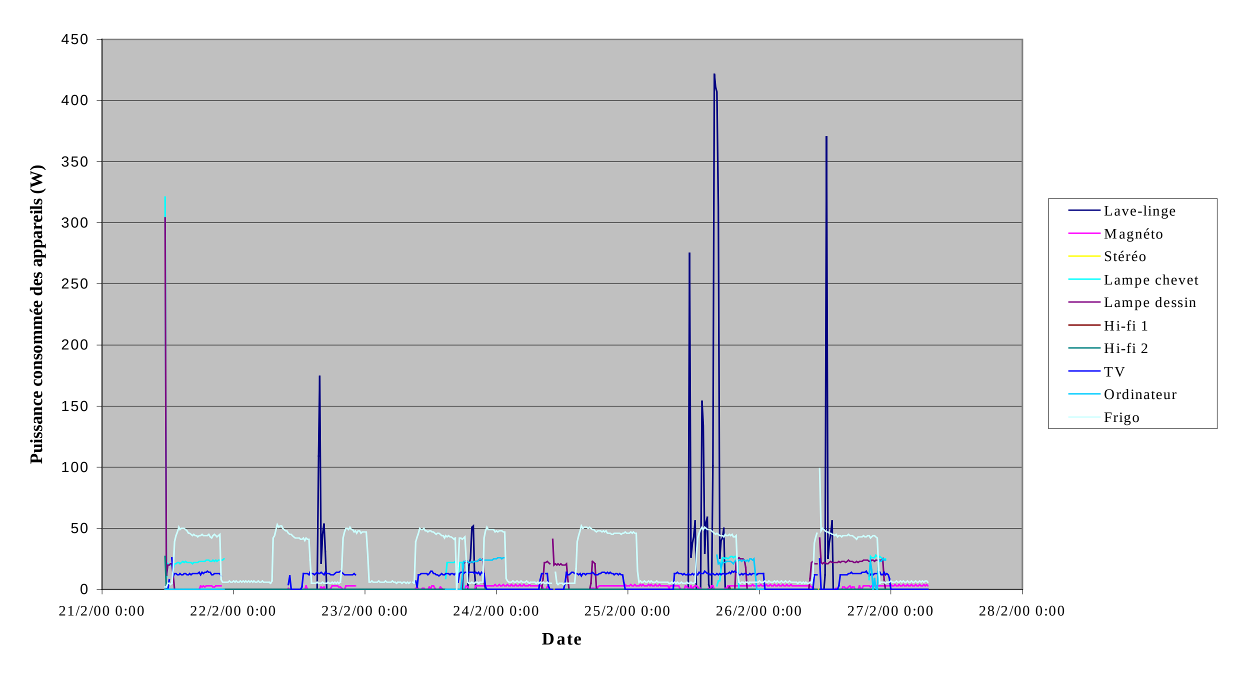


Figure VI.18 : Mesures de la puissance de quelques appareils dans le logement 3

VI.4.1.4. Logement 4

Le logement 4 est un appartement de 123.7 m² situé dans un bâtiment datant de 1973 à Tripoli (figures VI.19 et VI.20). Un radiateur mobile à gaz est utilisé pour le chauffage du séjour. Un chauffage collectif à mazout existe mais n'est plus utilisé. L'électricité est l'énergie utilisée pour le chauffage de l'eau. Le ballon est situé au-dessus de la salle de bain et a un volume de 150 l.

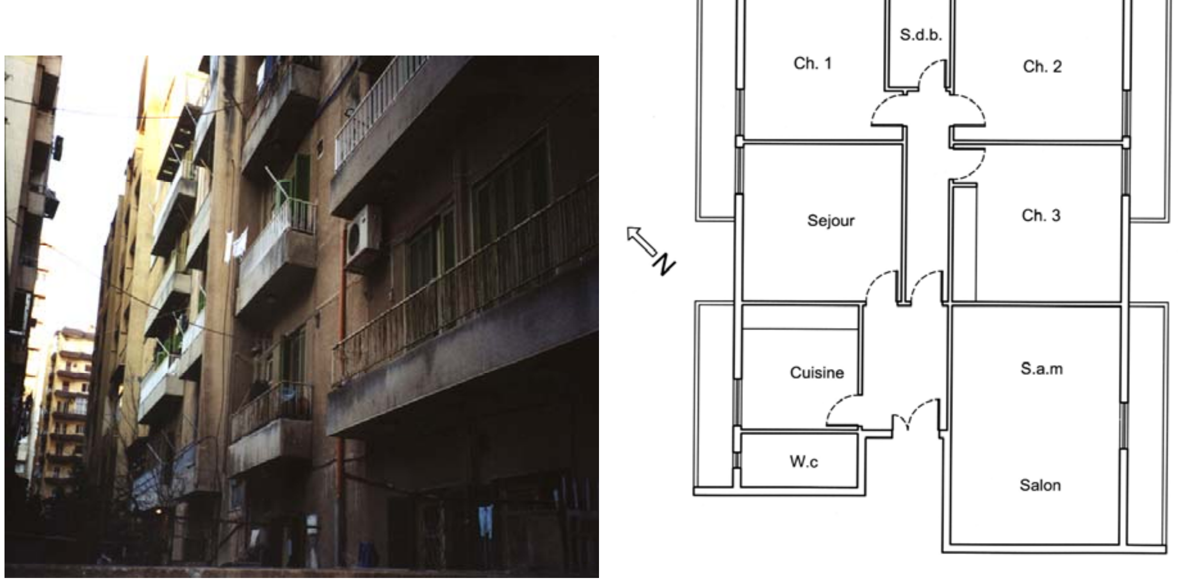


Figure VI.19: FaçadeSud-Est du logement 4

Figure VI.20: Plan du logement 4

Le plancher, le plafond, les parois NE et la paroi SO du salon sont en contact avec d'autres logements supposés chauffés. Les autres parois SO sont en contact avec un espace non chauffé.

La température intérieure est mesurée par les Tinytag dans 8 pièces (figure VI.23). Il n'y a pas une grande différence de température intérieure entre la nuit et le jour. La température intérieure moyenne est de 16.6°C.

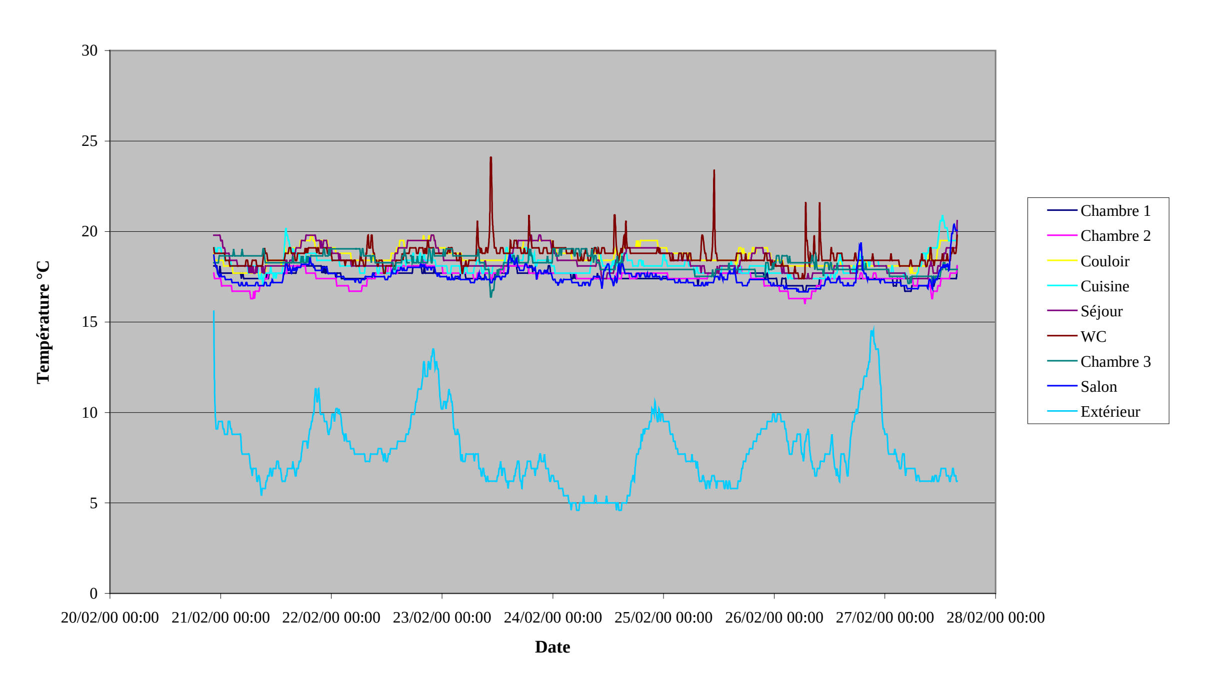


Figure VI.23 : Mesures des températures intérieures et extérieures dans le logement 4

L'humidité relative mesurée par les Tinytag dans le séjour donne des valeurs acceptables (figure VI.24). Elle est plus importante dans la cuisine à cause de la préparation des repas.



Figure VI.24 : Mesures de l'humidité relative dans le logement 4

La durée de l'éclairage est mesurée pour 8 lampes. La moyenne de l'erreur entre les mesures et le questionnaire est de 0.1%. La consommation annuelle de l'éclairage est de 579 kWh/an. Les appareils électriques sont les appareils courants, leur consommation est de 1138 kWh/an.

VI.4.3. Les principaux résultats

Les résultats du calcul des consommations sont présentés dans le tableau VI.3. Ne disposant pas de données sur le taux de ventilation, nous considérons une valeur de 0.6 h^{-1} pour le calcul de la consommation réelle. Nous utilisons le même climat pour le calcul standard et réel car nous ne disposons pas à l'heure actuelle de climat standard pour le Liban. Les données de calcul et les résultats détaillés pour les 4 logements étudiés sont donnés dans l'annexe VI.a.

Logement	Consommation standard (kWh/m²)	Saison de chauffe	Consommation réelle (kWh/m²)	Saison de chauffe
Logement 1	192	6/11-29/4	227 24.7 élect.	28/10 – 8/5
Logement 2	343.8	31/10-6/5	366 18.6 élect.	31/10-7/5
Logement 3	45.5	21/12-27/2	41 36 élect.	13/12-13/3
Logement 4	57.5	13/12- 14/3	53.4 39.5 élect.	12/1-18/2

Tableau VI.3 : Résultats du calcul de la consommation à l'aide de EC-Pro

D'après les résultats présentés dans le tableau VI.3, nous remarquons que l'écart entre la consommation d'énergie standard et réelle pour le chauffage n'est pas très grand (de l'ordre de 4-5 kWh/m²) pour les logements situés en zone tempérée (logements 3 et 4). Cet écart atteint respectivement –35 et –22 kWh/m² pour les logements 1 et 2 situés en zone moyenne à cause respectivement d'une consigne supérieure à 19°C et des besoins en ECS supérieurs à 21 kWh/m². Les écarts observés sur la consommation d'électricité sont liés à l'utilisation d'un chauffe-eau électrique (logements 3 et 4).

Nous comparons ensuite la consommation réelle à la facture énergétique (tableau VI.4). L'écart entre ces deux valeurs peut s'expliquer par :

- un manque de données concernant les factures (estimation par les occupants : les consommations en gaz et en mazout sont données sous forme de prix, certaines factures d'électricité sont manquantes donc estimées pour certains mois).
- utilisation non continue du chauffage durant la saison de chauffe (chauffage à la demande dans les logements 3 et 4)
- les différences météorologiques
- la variation saisonnière du comportement des occupants (température de consigne notamment).

Logement	Facture énergétique	Consommation réelle	Remarques
Logement 1	35000 kWh Mazout ch+ecs 6842 kWh élect.	33871 kWh ch. 7164 kWh ecs 4476.9 kWh élect.	Bonne estimation pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. La différence pour la consommation en électricité provient du manque de données concernant l'utilisation de certains appareils (pompe à eau, ventilateur, etc) + onduleur
Logement 2	23566 kWh Mazout ch+ecs 3000 kWh élect.	28344 kWh ch. 6623 kWh ecs 1779.4 kWh élect.	La consommation énergétique est basée sur l'estimation des occupants faute de factures (électricité, mazout). Différents usages de l'électricité ne sont pas pris en compte dans le calcul.
Logement 3	920 kWh gaz ch 8000 kWh élect.	2308 kWh ch. 6543.3 kWh élect.	La consommation électrique est basée sur des factures d'EDL. Tous les usages de l'électricité sont pris en compte à l'exception de la climatisation. La différence entre facture et consommation est due à l'utilisation de la climatisation qui, au Liban, est d'environ 1500 kWh pour un tel logement. Le chauffage est assuré par un radiateur mobile à gaz utilisé dans le séjour uniquement et de façon ponctuelle.
Logement 4	920 kWh gaz ch 4908 kWh élect.	339 kWh ch. 4891 kWh élect.	La consommation électrique est basée sur des factures d'EDL. Nous trouvons une bonne estimation de cette consommation car tous les usages de l'électricité étaient pris en compte. Le chauffage est assuré par un radiateur mobile à gaz utilisé dans le séjour uniquement.

Tableau VI.4 : Comparaison entre la consommation énergétique et les factures pour les 4 logements

A ces consommations, il faut ajouter le gaz pour la cuisinière (en moyenne 13 kg de gaz par mois). Dans tous les logements, nous remarquons que les déperditions par les parois extérieures sont les plus importantes. Elles varient entre 50% et 60% du total des déperditions. Les déperditions par les vitrages sont moins importantes (variant de 13% à 26%) compte tenu de la surface moins importante. Les ballons d'eau chaude n'étant pas isolés ou mal isolés entraînent des pertes de chaleur par stockage pouvant atteindre 1270 kWh/an dans le logement 1. L'eau chaude sanitaire, l'éclairage, le réfrigérateur et la télé semblent être les usages dominants parmi les équipements électriques.

VI.4.3. Les améliorations possibles

Nous remarquons d'après les résultats du calcul de consommation que les besoins en chauffage de la zone côtière sont très faibles et concentrés sur les mois de janvier et février. On peut d'ailleurs se poser la question de la rentabilité d'un système de chauffage central pour cette zone. Il serait préférable d'avoir une bonne conception du bâtiment notamment en isolant les façades et en utilisant plus efficacement les apports solaires. Par ailleurs, il est nécessaire de soigner la consommation électrique des appareils électroménagers et du chauffe-eau qui donnent lieu à des gaspillages inutiles . Pour la zone moyenne, nous montrons le besoin de réduire les consommations de chauffage, loin d'être négligeables, par une isolation minimum des parois.

Une étude du marché de la construction au Liban [Ghaddar, 1998] a montré que les principaux matériaux disponibles sont :

- blocs creux de 10 cm, 12, 15 et 20 cm
- simple vitrage avec 3 types standards : clair, teinté et anti-solaire
- double vitrage avec 3 types standards : clair, faiblement émissif ou anti-solaire de l'extérieur
- quelques matériaux d'isolation : surtout la laine de roche et le polystyrène expansé

D'après nos résultats et l'analyse économique réalisée par Ghaddar [1998], l'amélioration des parois extérieures semble être le meilleur moyen pour diminuer les déperditions, deux solutions sont envisageables : double mur avec 5 cm isolation et double mur avec lame d'air de 5 cm. Mais l'application de cette amélioration reste très limitée à cause du coût élevé de l'isolant, du prix bas de l'énergie et de la perte de surface imposée par l'isolation. Le surcoût de l'isolation (coût de l'isolant et de la deuxième épaisseur de parpaings) est estimé à 15

euros/m². L'utilisation du placo-plâtre pour la face intérieure n'apporte rien au niveau thermique mais limite la perte de surface (25euros/m² environ).

Le remplacement du vitrage n'a pas été pris en compte à cause de son coût élevé qui n'est pas justifié d'un point de vue économique. Le seul argument susceptible de le voir se développer est l'amélioration du confort thermique et acoustique. Les ballons d'eau chaude utilisés dans la plupart des logements, fabriqués au Liban, sont très mal isolés et ne respectent aucune norme. Les ballons de 100 l sont vendus à 88 euros environ. Des ballons de meilleure qualité importés souvent de Grèce ont une meilleure isolation et coûtent environ 175 euros.

D'autres améliorations importantes peuvent concerner :

- le remplacement des lampes incandescentes par d'autres fluorescentes ou de faible consommation et le changement des habitudes des occupants (extinction des lampes quand les pièces sont non occupées)
- le remplacement de quelques appareils électroménagers par d'autres plus efficaces (surtout le réfrigérateur) et la suppression des veilles (exemple : télé et magnétoscope).

Le guide de l'isolation thermique des bâtiments au Liban [Libnor, 1999] propose des niveaux d'exigence en matière de déperditions par les parois des logements neufs (tableau VI.5) pour les cinq zones présentées au I.3.4. Ces niveaux correspondent à la réglementation thermique française mise en place à partir de 1982 adaptée à la situation géographique libanaise et s'expriment en termes de coefficient de transmission surfacique globale (U en W/m²°C) des parois de l'enveloppe.

Zone climatique	H1	H2	H3	H4	H5
Umur	0.85	1.00	1.10	1.25	1.35
Uplancher	0.45	0.60	0.70	0.85	0.95
Utoiture	0.45	0.60	0.70	0.85	0.95
Ufenêtre	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60

Tableau VI.5. : Proposition de valeurs limites de U des parois de l'enveloppe applicables dans les cinq zones climatiques libanaises définies par l'ALMEE

La particularité de la certification énergétique est de prendre en compte tous les usages d'énergie dans les bâtiments et de donner la possibilité, pour le cas du Liban, d'adapter les améliorations selon les conditions.

Nous présentons dans le tableau VI.6 des propositions d'améliorations pour les 4 logements étudiés et nous donnons pour chacune d'elles l'économie d'énergie réalisable par an.

Logement	Suggestion d'améliorations	Economie d'énergie par an (kWh)
Logement 1	- doublage des murs extérieurs par une contre cloison avec lame d'air de 5 cm, abaissement de la température de consigne (19°C) - remplacement du réfrigérateur par un autre plus performant (0.9 kWh/24h) - remplacement de certaines lampes incandescentes par des lampes fluorescentes (séjour, salon, salle à manger, chambres, salle de bain) - remplacement du sèche-linge et du lave-vaisselle par d'autres plus performants (1.4 kWh/cycle et 1.2 kWh/cycle)	13470 400 308 1031
Logement 2	- doublage des murs extérieurs par une contre cloison avec lame d'air de 5 cm	10066
Logement 3	- doublage des murs extérieurs par une contre cloison avec lame d'air de 5 cm - remplacement de certaines lampes incandescentes par des lampes fluorescentes (séjour, salon, salle à manger, chambres, cuisine, salle de bain) - réduction du temps d'utilisation des lampes	2289.4 636 1199
Logement 4	- doublage des murs extérieurs par une contre cloison avec lame d'air de 5 cm - remplacement du réfrigérateur par un autre plus performant (0.9 kWh/24h) - remplacement de certaines lampes incandescentes par des lampes fluorescentes (séjour, salon, couloir, salle de bain)	328 470 297

Tableau VI.6 : Résultats du calcul d'économie d'énergie pour les 4 logements à l'aide de EC-Pro

VI.4.4. Evaluation du coût de la phase de mesures sur site

En prenant à titre d'exemple, une maison de 90 m² comprenant 3 chambres à coucher , un séjour, deux salles de bain et deux espaces non chauffés (un garage et un comble), le nombre d'instruments de mesures nécessaires ainsi que leur coût sont donnés dans le tableau VI.7 :

Type de mesure	Equipement	Nombre	Coût approximatif par unité (Euros)
Température	Un par pièce Un par espace non chauffé Un à l'extérieur	10	100
Consommation électrique	Appareils : réfrigérateur, congélateur, lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, TV + magnétoscope, Micro-onde, autres	8	152.5
Durée d'éclairage	1 par lampe (2 par pièce maximum)	14	120
Checkscope	Description des murs	1	1800
Mètre à utltrasons	Pour les dimensions intérieures	1	100
Thermomètre	La température de l'eau La température d'utilisation de l'eau chaude	1	40
Efficacité de la chaudière	Un analyseur de fumée	1	1680

Tableau VI.7 : liste des instruments de mesures et de leur prix

Chaque logement nécessite un nombre différent d'instruments de mesures selon sa surface et le nombre d'appareils. En considérant l'exemple déjà cité et un temps de retour de 3 ans, et en supposant qu'il est possible d'étudier 12 logements par an, le coût de la mesure est alors de 190 euros. Ce prix est approximatif et est donné à titre indicatif. Il faut ajouter à ce coût celui du travail fourni et de la visite du logement par un ingénieur ou un technicien supérieur qui peut être estimé au Liban à 90 euros (45 euros/h). Alors un prix indicatif de 280 euros peut être avancé pour la phase de mesures. Ce prix est élevé pour le Liban (voir enquête chapitre III), de même que pour les pays européens.

Dans ce sens, des améliorations doivent être faites afin de réduire :

- le coût des appareils de mesure par l'utilisation et le développement d'instruments de mesures plus adaptés à notre application
- le coût de la phase de mesure par la réduction du temps utilisé pour programmer et décharger les capteurs
- le coût de la phase d'analyse par l'intégration d'algorithmes et de routines de calcul spécifiques aux instruments utilisés

Nous pouvons proposer quelques idées comme l'utilisation d'un scanner portable pour scanner les dessins et les factures ainsi qu'un appareil photo numérique permettant d'avoir des photos de bonne qualité et utilisables directement sur ordinateur (calcul des surfaces).
Enfin, les mesures peuvent être également effectuées par un même système (une seule centrale d'acquisition) non filaire et donc permettre une analyse par un seul et même programme dédié.

VI.4.5. Le confort d'été

Au Liban, le confort d'été représente un élément important dans les logements surtout dans la zone côtière. Nous sommes conscients de son importance pour une étude complète d'économie d'énergie et de confort dans les bâtiments au Liban.
Dans le contexte de notre étude, le but serait d'estimer les besoins en climatisation afin de proposer des mesures pour les réduire. Il serait possible d'utiliser le modèle dynamique simplifié que nous avons présenté pour calculer les besoins en climatisation pour une journée-type de l'été (la journée la plus chaude). Les informations déjà utilisées pour le calcul des besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire (surtout le calcul détaillé des gains internes pour le calcul réel) serviront de base pour cette étude.

Si dans un premier temps, il est possible de donner des recommandations telles que celles citées dans le guide, il convient à terme de disposer de données météorologiques permettant de caractériser le climat en été et de définir des zones climatiques d'été.
Les exemples de solutions donnés dans le guide [Libnor, 1999] sont structurés par les trois paramètres que sont la protection solaire, l'inertie et la ventilation des bâtiments.

VI.4.6. Critique de l'approche sur site

Les appareils utilisés pour la mesure de la température Tinytag sont faciles à utiliser et fiables et ils ne gênent pas les occupants.
Les mesures effectuées par les DIACE ne demandent pas trop de temps d'installation et de récupération des données et fournissent des informations importantes pour les principaux appareils. Par contre, la mesure de la durée d'éclairage par les Hobo nécessite un temps important pour l'installation des capteurs et pour le traitement des résultats. Or ces résultats ne sont utilisés que pour avoir plus d'exactitude sur la durée d'utilisation des lampes. Pour un calcul efficace, nous pouvons nous contenter des valeurs estimées par les occupants.
Dans nos mesures, certains paramètres sont non mesurés (une partie de la consommation électrique: éclairage, pompes, climatisation, le taux de ventilation, l'ombrage, etc), ce qui peut expliquer la différence entre le calcul et la facture énergétique.

Le remplissage du questionnaire électronique dure 30 mn en moyenne. L'installation de tous les appareils de mesures demande en moyenne 2 h. Après l'application sur le terrain, nous avons trouvé important d'ajouter au questionnaire une partie comprenant toutes les données relatives au bâtiment et à ses systèmes. Cela permet au technicien de noter toutes les informations nécessaires au calcul et d'éviter les fiches de notes qui risquent d'être encombrantes et non complètes. Le questionnaire électronique permettra alors de rassembler toutes les données d'occupation et celles relatives au bâtiment et à ses systèmes. Il serait également envisageable de permettre le transfert de ces données à l'outil de calcul.

Les différentes informations recueillies lors de cette application sur site nous poussent à nous demander sur la sensibilité des résultats obtenus par rapport aux valeurs des paramètres d'entrée.

VI.5. Analyse de sensibilité de EC-Pro

VI.5.1. Choix d'une méthode pour l'analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité consiste à étudier l'influence des entrées d'un modèle sur les résultats de calcul.

Elle sert à :

- Identifier l'importance de certaines entrées par rapport aux sorties. Cela nous aidera à identifier les paramètres que nous devons choisir soigneusement et ceux qui sont moins importants ;
- Identifier les entrées pour lesquelles l'outil est sensible, mais pour lesquelles nous ne disposons pas de valeurs exactes. Des approches expérimentales peuvent être suggérées ;
- Donner à l'utilisateur une liste des principaux paramètres à contrôler lors d'un calcul [Lomas K.J., 1992].

Différentes méthodes peuvent être utilisées selon la complexité du modèle et/ou la précision souhaitée quant à la détermination des sensibilités, cependant il est d'usage de classer ces méthodes en deux grandes catégories : stochastique et déterministe.

Leurs forces et leurs faiblesses sont évaluées en tenant compte de leur facilité d'implémentation numérique, de leur domaine de validité et de leur coût de calcul [Lepers S., 2000]. Nous décrivons succinctement ces différentes approches. Nous nous appliquerons cependant à décrire de manière plus approfondie celle que nous avons utilisée dans le cadre de notre travail.

L'approche stochastique

Le cadre statistique usuel de ces méthodes consiste à considérer les données d'entrée et les paramètres corrompus par des erreurs modélisées comme des réalisations d'un vecteur aléatoire de densité de probabilité connue ou paramétrée. Nous pouvons citer les plus couramment employées [Aude P., 1997] :

- La méthode de Monte-Carlo
- La méthode d'échantillonnage Hyper Latin (LHS) qui est une variante de la méthode de Monte-carlo
- La méthode d'Analyse de Sensibilité Stochastique (SSA).

L'approche déterministe

L'estimation de la confiance des résultats à l'aide de méthodes déterministes procède d'une approche différente. Elle consiste à entreprendre une analyse de sensibilité, dont le but ultime est de déterminer, dans un ensemble de paramètres et d'entrées, quels sont ceux qui exercent une influence prépondérante sur les sorties d'un modèle. Les fonctions de sensibilité qui permettent cette analyse sont constituées par des dérivées des sorties du modèle par rapport aux paramètres et aux sollicitations. De nombreuses méthodes ont été développées pour aboutir à des estimations fiables de ces dérivées. Elles possèdent toutes un point commun : elles exigent de procéder à des modifications numériques des codes analysés. Cette caractéristique est un aspect dont le poids peut devenir prédominant dans une analyse de sensibilité.

Signalons cependant une approche totalement originale du problème qui consiste à faire appel aux plans d'expériences. Cette méthode a été à l'origine développée pour optimiser le nombre d'essais pour des expériences réelles mais s'applique aujourd'hui dans divers domaines. Elle permet donc de mener des études paramétriques avec un nombre limité de calculs [Aude P., 1997] et de répondre aux questions suivantes :

- Quels facteurs ont une influence sur le phénomène étudié ?
- Si influence, que vaut-elle ?
- Y-a-t-il des interactions entre facteurs, et comment jouent-elles ?

Globalement, la démarche procède en trois phases dont l'aboutissement est l'identification d'un modèle phénoménologique sous la forme d'un polynôme à partir de la modélisation complète et originale. Les coefficients de ce polynôme fournissent une estimation des dérivées partielles des sorties par rapport aux paramètres [Furbringer J.M., 1994].

VI.5.2. Proposition d'une méthodologie d'analyse de sensibilité de EC-Pro

A partir de ces éléments, nous avons décidé d'effectuer une étude de sensibilité du calcul de la consommation standard et réelle par EC-Pro, à l'aide de la méthode des plans d'expériences. Les étapes suivies sont les suivantes:

- choix des paramètres influents sur la consommation standard et réelle
- deux applications : pour deux maisons appartenant au domaine d'application de EC-Pro
- pour chacune des maisons, détermination de l'influence individuelle de chaque paramètre sur les résultats et des interactions entre les paramètres

- conclusions concernant les paramètres influents et propositions pour une meilleure utilisation de EC-Pro.

VI.5.3. Application de la méthode des plans d'expériences à EC-Pro

VI.5.3.1. Théorie des plans d'expériences

Les éléments intervenant dans la mise en place d'un plan d'expériences sont les suivants :

- Facteurs (*X1, X2*) : On appelle *facteur* ou paramètre tout ce qui a, peut avoir ou est supposé avoir une influence sur le phénomène étudié. Les facteurs sont donc considérés comme causes possibles des réponses. On attribue à chacun d'eux au moins deux niveaux. Les plages de variation de chaque facteur délimitent le domaine expérimental de l'étude.
- Réponse : On appelle *réponse* toute manifestation ou conséquence d'un phénomène, une propriété qualitative ou quantitative.

Un plan factoriel $n_1 \times n_2 \times \ldots \times n_N$ est un plan d'expérience de N facteurs qui varient entre n_i niveaux. Nous allons nous concentrer sur les plans factoriels à deux niveaux : $2 \times 2 \times \ldots \times 2 = 2^N$

Supposons un phénomène dépendant de variables X, pouvant être représenté analytiquement par le modèle linéaire suivant [Furbringer J.M., 1994] :

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^{N} a_i X_i + \sum_{i \neq j}^{N} a_{ij} X_i X_j + \ldots + a_{1 \ldots N} X_1 \ldots X_N \qquad \text{(Equation VI.1)}$$

avec,

Y : réponse

ai : coefficient à estimer

Xj : variable

Ce polynôme compte 2^N coefficients a_0, a_i, a_{ij},… et chaque facteur n'apparaît qu'au premier degré :

$$\frac{\partial^2 R(X_i)}{\partial^2 X_i} = 0 \quad \forall i \qquad \text{(Equation VI.2)}$$

Donc l'exécution d'un plan factoriel permet la détermination des coefficients du modèle. Les coefficients a_0, a_i, a_{ij} sont identifiés aux effets de variation des paramètres X_i. On distingue :

a_0 : l'effet constant

a_i : les effets principaux
a_{ij} : les effets d'interaction du premier ordre
a_{ijk} : les effets d'interaction du deuxième ordre
etc…

Pour explorer un domaine expérimental de N facteurs, on ne considère pour chacun que les limites de sa plage de variation. Cela revient à considérer un système de N facteurs à 2 niveaux qui a donc 2^N états possibles. Par commodité pour les calculs, nous représentons l'état d'un facteur par un index +1 ou –1 suivant qu'il est dans l'un ou l'autre des deux états autorisés. L'état du système est donc entièrement décrit si l'on connaît le vecteur d'état, contenant l'index de chaque facteur, ainsi que les valeurs physiques auxquelles correspondent ces index [Furbringer J.M., 1994].

A une suite d'expériences k sur les facteurs X_j, correspond une matrice d'expériences E telle que :

$$E_{kj} = x_{kj} \qquad \text{(Equation VI.3)}$$

Où

x_{kj} est l'index du facteur X_j lors de l'expérience K.

La construction de la matrice E d'un plan de 2^N se fait de la manière suivante :

- La première colonne de la matrice est remplie dans sa moitié supérieure de '1' et dans l'autre moitié de '-1' :

$$E_{k1} = \begin{cases} 1 \quad si \quad 1 \le k \le 2^{n-1} \\ -1 \quad si \quad 2^{n-1} < k \le 2^n \end{cases} \qquad \text{(Equation VI.4)}$$

- la deuxième colonne est remplie dans son premier quart et troisième quart de'1' et dans le deuxième quart et le quatrième quart de '-1' :

$$E_{k1} = \begin{cases} 1 \quad si \quad 1 \le k \le 2^{n-2} \quad ou \quad 2^{n-1} < k \le 3(2^{n-2}) \\ -1 \quad si \quad 2^{n-1} < k \le 2^{n-1} \quad ou \quad 3(2^{n-2}) < k \le 2^n \end{cases} \qquad \text{(Equation VI.5)}$$

- ainsi de suite pour les autres colonnes en alternant '1' et '-1' à la fréquence des fractions ayant comme dénominateurs les puissances successives de 2 (1/2, ¼, 1/8,…).

Chaque colonne de la matrice *E* doit contenir le même nombre de '1' et de '-1'. C'est cette propriété des matrices factorielles qui permettra d'utiliser un algorithme extrêmement simple pour la résolution du système d'équation auquel elles correspondent. La matrice du modèle *M* se construit à partir de la matrice d'expériences *E*. La matrice du modèle compte autant de colonnes que le modèle compte de coefficients. La colonne du coefficient d'interaction X_iX_j, qui doit permettre de déterminer le coefficient a_{ij}, est le produit des colonnes *i* et *j* de la matrice d'expériences. Le produit de 2 colonnes est une colonne du même nombre d'éléments et dont chaque élément est le produit des éléments correspondant des 2 colonnes multipliées :
La première colonne de *M*, qui correspond au coefficient constant a_0, est une colonne de +1.
Si la réponse du système étudié est représentée par le vecteur *R* et les coefficients par le vecteur *A*,

$$A = (\, a_0 \quad a_1 \quad a_2 \quad \ldots\, a_{12\ldots N})^T \qquad \text{(Equation VI.6)}$$

Le système peut s'écrire, puis se résoudre de la manière suivante :

$$MA = R \;\Rightarrow\; A = (M^T M)^{-1} M^T R \qquad \text{(Equation VI.7)}$$

Une matrice factorielle *M* est caractérisée par le fait que son inverse M^{-1} est proportionnel à sa transposée M^T : $$(M^T M = NI_N) \Leftrightarrow (M^T = N M^{-1}) \qquad \text{(Equation VI.8)}$$

avec I_N une matrice identité $N \times N$. L'équation devient alors :

$$A = N\, I_N\, M^T R \qquad \text{(Equation VI.9)}$$

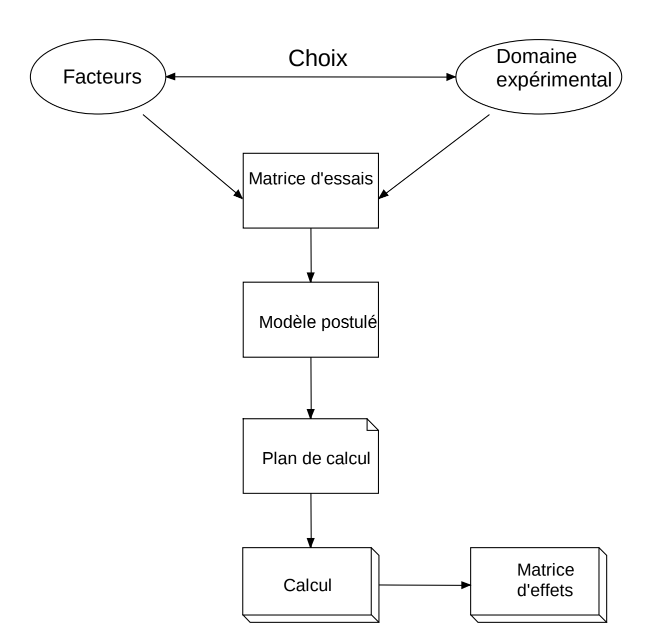


Figure VI.25: organigramme de la méthode des plans d'expériences

VI.5.3.2. Choix des paramètres

Une étude de sensibilité générale n'est pas possible, du moins dans l'état actuel de nos connaissances. Nous devons nous résoudre à choisir un certain nombre de paramètres à étudier.

Les paramètres retenus sont divisés en trois catégories:

A. Les paramètres dépendant du comportement des occupants :

- A1. La température de consigne
- A2. Les gains internes

B. Les paramètres dépendant du bâtiment et des conditions météo :

- B1. Les conditions climatiques (température et irradiations)
- B2. Les déperditions

C. Les paramètres dépendant des systèmes :

- C1. Le système de chauffage : L'efficacité du système de chauffage, l'épaisseur de l'isolant des conduites d'eau chaude et la longueur des conduites.
- C2. Le système d'eau chaude sanitaire : les besoins en eau chaude, la température de stockage et l'épaisseur de l'isolant du ballon du stockage.

Mais la sensibilité à l'un ou l'autre de ses paramètres d'entrée dépend du bâtiment simulé et des conditions météorologiques. Nous avons appliqué l'étude de sensibilité à une maison individuelle en France (étudiée dans le cadre du projet SAVE, voir VI.3) et une maison au Liban (étudiée dans le cadre du projet TEMPRA, voir VI.4.1.1).

Les déviations sur les résultats sont analysées pour les deux sorties de EC-Pro : la consommation standard et la consommation réelle. Cette distinction vient du fait que pour le calcul standard, quelques paramètres ont des valeurs normalisées (température de consigne, climat, gains internes et besoins en chauffage), ce qui réduit à 3 le nombre des paramètres.

Dans le cas de la consommation réelle, les valeurs des gains internes et des besoins en eau chaude sont basées sur les résultats du questionnaire électronique obtenus lors de l'étude détaillée des logements.

Pour chaque maison, 72 calculs sont nécessaires : 64 calculs pour la consommation réelle et 8 pour la consommation standard. Les matrices d'essais et les résultats détaillés sont donnés dans l'annexe VI.a.

VI.5.3.3. Application à une maison au Liban

VI.5.3.3.1. Les niveaux des paramètres

Les niveaux appartiennent aux intervalles d'erreur possible lors des mesures ou des estimations des données (tableaux VI.8. et VI.9).

Paramètres / Niveaux		-1	+1
A1	Température de consigne (°C)	18	21
A2	Gains internes (W/m²)	4	5
B1	Climat	Zone moyenne	Zone tempérée
B2	Déperditions	866.9	1100
C1	Système de chauffage		
	Efficacité	0.8	0.9
	Longueur (m)	10	15
	Epaiss. Isolant (mm)	2	10
C2	Système d'eau chaude sanitaire		
	Les besoins en eau chaude (kWh/m²)	17.78	21
	Temp. de stockage et température de distribution (°C)	50	60
	Epaiss. Isolant du ballon (mm)	30	50

Tableau VI.8: Paramètres d'étude de la consommation réelle pour une maison au Liban

Paramètres / Niveaux		-1	+1
A1	Température de consigne (°C)	19	
A2	Gains internes (W/m²)	5	
B1	Climat	Zone tempérée	
B2	Déperditions	866.9	1100
C1	Système de chauffage		
	Efficacité	0.8	0.9
	Longueur (m)	10	15
	Epaiss. Isolant (mm)	2	10
C2	Système d'eau chaude sanitaire		
	Les besoins en eau chaude (kWh/m²)	21	
	Temp. de stockage et température de distribution (°C)	50	60
	Epaiss. Isolant du ballon (mm)	30	50

Tableau VI.9: Paramètres d'étude de la consommation standard pour une maison au Liban

Le cas de référence est calculé en prenant le niveau –1 pour tous les paramètres. Nous considérons les mois de janvier et d'avril comme significatifs pour comprendre ce qui se passe durant la saison de chauffe.

VI.5.3.3.2. Résultats

A partir des résultats des plans d'expériences (annexe VI.b), nous pouvons souligner les poins suivants :

Pour la consommation réelle :

- L’importance du climat (figure VI.27) montre qu’il faut soigner le choix des climats standards qui doivent prendre en compte les différentes zones climatiques. Dans le cas libanais, c’est le paramètre le plus influent et ses interactions restent faibles. Ce qui montre l’importance d’une bonne étude du zonage climatique. Pour le mois d’avril (figure VI.28), le climat a une interaction avec la température et cette interaction est d’autant plus importante que le climat est au niveau –1. Nous devons alors considérer simultanément ces deux éléments lors du calcul de la consommation.
- L’interaction des déperditions et de la température de consigne en janvier est d’autant plus importante quand les déperditions sont au niveau +1 (figure VI.26).

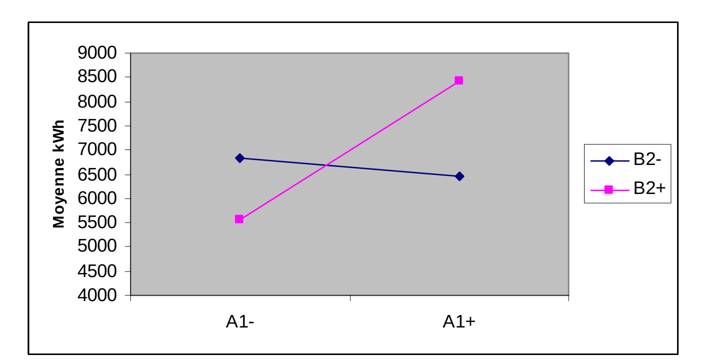
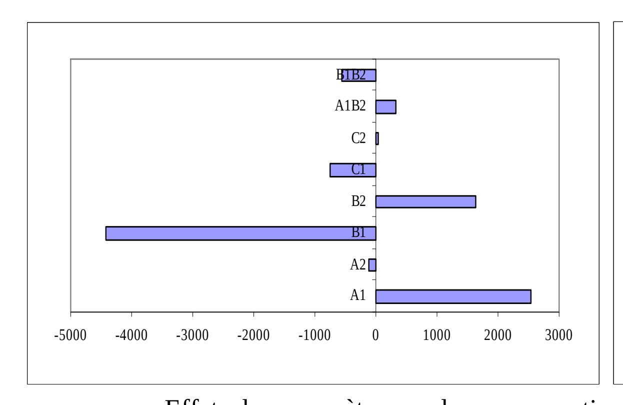
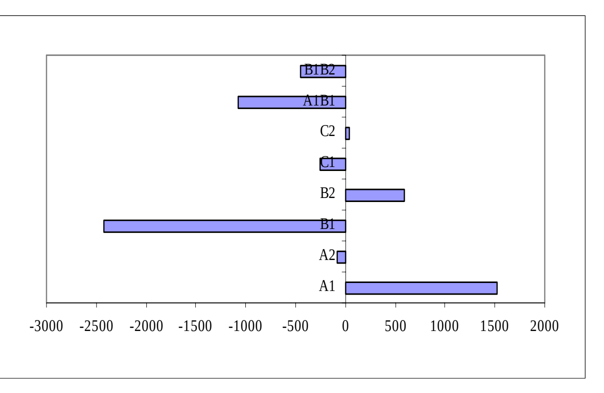


Figure VI.26: Interaction entre la temp. de consigne et les déperditions pour le mois de janvier

- La description du système de chauffage a une faible influence par rapport au climat, à la température de consigne et aux déperditions, mais cet effet est plus important que celui des gains internes et de la description du système d’eau chaude sanitaire.





Effets des paramètres sur la consommation réelle en kWh pour une maison au Liban

Figure VI.27: Pour le mois de janvier — Figure VI.28: Pour le mois d’avril

- Les autres interactions sont négligeables surtout les effets de plus de 2 paramètres (voir annexe VI.b). Le fait de changer trois paramètres par exemple n’influe pas sur les effets de chacun des paramètres, d’où l’importance de soigner la détermination de tous les paramètres.

Pour la consommation standard :

Les déperditions et les caractéristiques du système de chauffage sont les seuls paramètres influents sur la consommation durant les deux mois représentatifs choisis (figure VI.29). L'interaction entre ces deux paramètres est trop petite. En avril, c'est uniquement le système d'eau chaude sanitaire qui est influent.

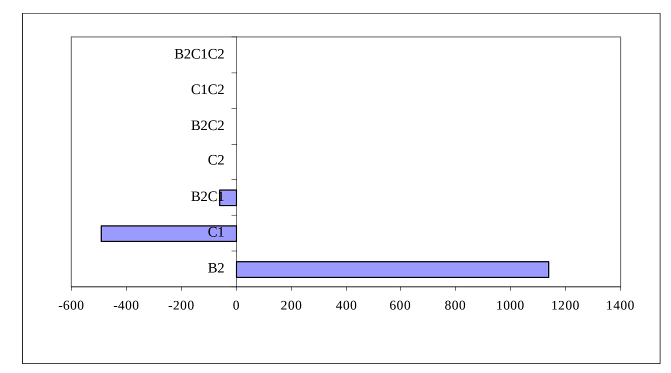


Figure VI.29: Effets des paramètres sur la consommation standard pour une maison au Liban durant le mois de janvier en kWh

VI.5.3.4. Application sur une maison en France

VI.5.3.4.1. Les niveaux des paramètres

Les niveaux de ces paramètres sont donnés dans les tableaux VI.10 et VI.11.

Paramètres / Niveaux		-1	+1
A1	Température de consigne (°C)	18	21
A2	Gains internes (W)	5W/m²	Mesuré (6.9)
B1	Climat	Macon	Lyon
B2	Déperditions	390	477
C1	Système de chauffage		
	Efficacité	0.8	0.9
	Longueur (m)	8	11
	Epaiss. Isolant (mm)	10	15
C2	Système d'eau chaude sanitaire		
	Les besoins en eau chaude (kWh/m²)	13	21
	Temp. de stockage et température de distribution (°C)	50	60
	Epaiss. Isolant du ballon (mm)	30	50

Tableau VI.10: Paramètres d'étude de la consommation réelle pour une maison en France

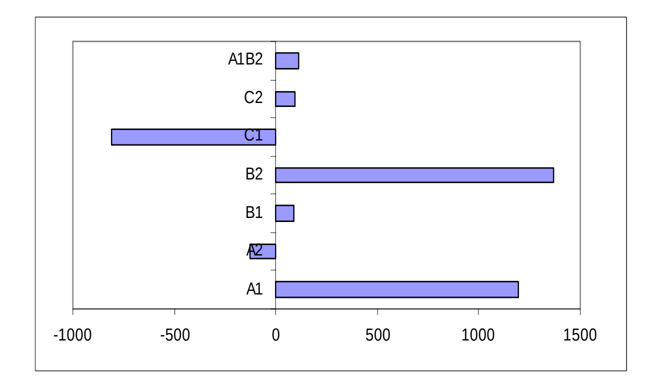
Paramètres / Niveaux		-1	+1
A1	Température de consigne (°C)	19	
A2	Gains internes (W/m²)	5	
B1	Climat	Macon	
B2	Déperditions	390	477
C1	Système de chauffage		
	Efficacité	0.8	0.9
	Longueur (m)	8	11
	Epaiss. Isolant (mm)	10	15
C2	Système d'eau chaude sanitaire		
	Les besoins en eau chaude (kWh/m²)	21	
	Temp. de stockage et température de distribution (°C)	50	60
	Epaiss. Isolant du ballon (mm)	30	50

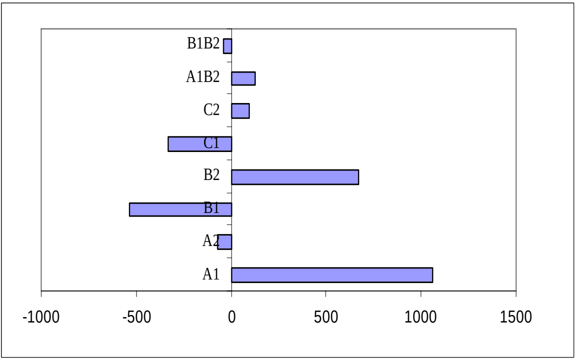
Tableau VI.11: Paramètres d'étude de la consommation standard pour une maison en France

VI.5.3.4.2. Résultats

Pour la consommation réelle (figures VI.30 et VI.31) :

- Nous retrouvons l'interaction entre la température de consigne et les déperditions.
- L'effet du système de chauffage est dans ce cas plus important que celui du climat mais l'effet du climat B1 devient plus important en avril.
- Le logement étant mieux isolé que celui étudié au Liban, l'effet des gains internes est plus important.





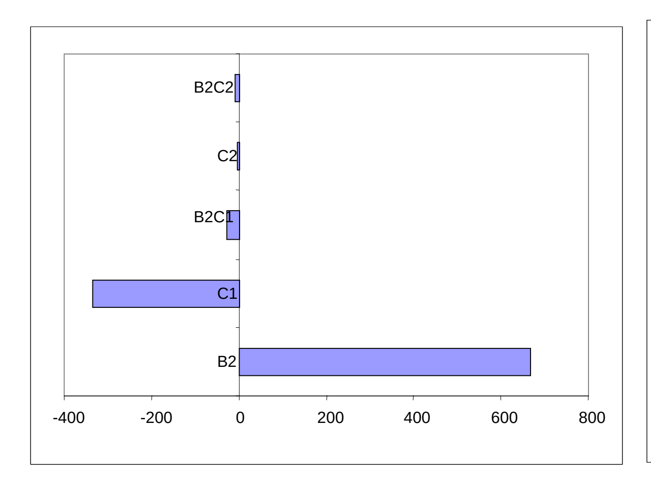
Effets relatifs des paramètres sur la consommation réelle pour une maison en France en kWh

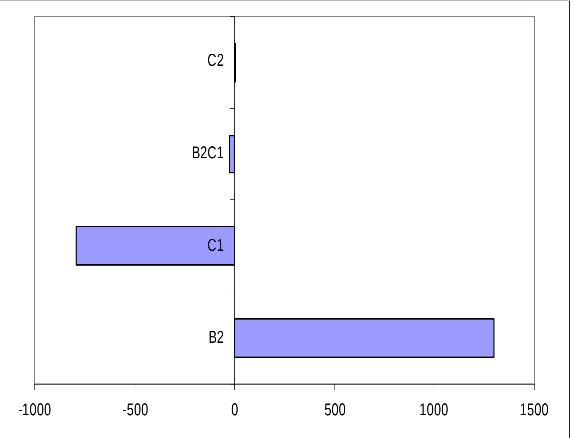
Figure VI.30: durant le mois de janvier Figure VI.31: durant le mois d'avril

Comme pour le cas précédent les interactions sont très faibles par rapport aux effets des paramètres.

Pour la consommation standard :

Nous retrouvons l'effet de B2 et de C1 en janvier et en avril (figures VI.32 et VI.33) vu la différence entre les conditions climatiques du Liban et de la France (surtout en avril).





Effets des paramètres sur la consommation standard en kWh
Figure VI.32: durant le mois de janvier Figure VI.33: durant le mois d'avril

VI.5.3.5. Synthèse

Cette analyse confirme l'intérêt de la méthodologie proposée par EC-Pro en soulignant les points suivants:

- la méthode dépend de la précision de nombreux paramètres nécessaires au calcul, mais cette influence reste acceptable selon les objectifs de la procédure, qui n'est pas le calcul exact de la consommation mais le diagnostic, l'évaluation des consommations et la proposition d'améliorations ;
- la valeur de la température intérieure a une influence importante sur le calcul de la consommation réelle, ce qui justifie notre choix de la mesurer dans toutes les pièces du logement ;
- la précision du coefficient de déperditions dépend d'un grand nombre de facteurs (composition des parois, caractéristiques thermophysiques des matériaux, dimensions du logement, etc) dont il est possible d'améliorer la précision grâce à la phase d'analyse sur site et de mesures ;
- la description des systèmes de chauffage et d'eau chaude sanitaire demande l'examen des différents composants mais fournit une meilleure précision pour le calcul de la consommation, des propositions d'améliorations plus adaptées et les éléments nécessaires au calcul des déperditions par ces systèmes ;
- le climat apparaît comme un paramètre important, mais son amélioration est liée à la disponibilité des données climatiques ;
- les gains internes ont une faible influence (de l'ordre de 2% de déviation pour 20% de déviation des données d'entrée) . Cependant, leur calcul dans EC-Pro ne doit pas être

considéré comme un excès de précision car le questionnaire électronique les détermine directement à partir des données nécessaires pour le calcul des consommations et des économies provenant des appareils domestiques et de l'éclairage et de la description des systèmes ;

- il est nécessaire de soigner les valeurs de tous les paramètres, ce qui montre la nécessité et l'importance de la phase d'analyse sur site et de mesures que propose la procédure. En effet, le manque de précision sur certains paramètres peut mener à des résultats non utilisables par rapport à nos objectifs.

VI.6. Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre l'applicabilité de la procédure développée dans son domaine d'application en étudiant 14 logements en Europe et quatre au Liban. Cette étude nous a permis de prouver l'importance de la consommation énergétique des bâtiments au Liban. Les améliorations réalisables concernent surtout l'isolation des murs extérieurs, le remplacement de certains appareils domestiques et des lampes par d'autres plus efficaces, l'isolation des ballons d'eau chaude sanitaire, etc.

Par ailleurs, nous avons étudié la sensibilité de EC-Pro aux paramètres de calcul et nous avons montré l'importance de l'effet des paramètres. La sensibilité du calcul de la consommation à certains paramètres tels que la température intérieure, les déperditions et la description des systèmes justifient le recours à une phase d'analyse sur site et de mesures avant celle du calcul.

Chapitre VII

Réflexion prospective sur l’application de la certification énergétique au Liban

VII.1. Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons développé une procédure de certification énergétique adaptée au contexte libanais et nous avons souligné, à travers nos différentes enquêtes, le besoin et l'intérêt des libanais pour une telle procédure.

Mais il reste à préparer et à provoquer la mise en place de la certification. Plusieurs questions restent à résoudre: comment mettre en œuvre cette certification au Liban? Dans quel environnement peut-elle évoluer et quelles sont les variables essentielles à son évolution? Quels sont les principaux acteurs agissant sur ces variables ?

Ainsi, la mise en œuvre de la certification s'apparente à un acte de prospective qui intègre un certain nombre d'éléments, passés ou à venir [Jouvenel H., 1993]. Une faiblesse dans l'application de cette certification est assimilable à une insuffisance d'esprit prospectif.

Nous devons donc disposer d'une méthode qui puisse conduire un débat transparent sur les choix et les décisions du présent qui conduiront vers notre objectif souhaité du futur. Différentes méthodes peuvent être mises en œuvre pour engager une telle démarche mais celle-ci ne peut être entreprise qu'avec une réflexion structurée [Hatem F., 1993].

La démarche que nous initions fournit une première représentation de l'application d'une «certification énergétique » au Liban et met en évidence le degré d'implication des différentes composantes. En ce sens, elle permet de repérer les variables et les acteurs qui semblent pouvoir jouer un rôle fondamental pour la compréhension de l'évolution qualitative d'une certification énergétique au Liban.

En Europe, quelques études ont été faites sur les acteurs de la certification énergétique pour l'Allemagne, l'Irlande [Hendersen G., 2000] et le Royaume-Uni [Henderson G., 2000]. Dans ces études, nous trouvons une énumération des acteurs liés à la certification et de leur rôle, sans démarche structurée visant à connaître l'évolution et l'intensité de leur action sur les variables de la certification.

VII.2. La méthode de l'analyse structurelle

Nous proposons d'utiliser la méthode d'analyse structurelle qui constitue un outil de structuration des idées et de la réflexion sur le problème posé et qui crée un langage commun pour une réflexion prospective.

L'analyse structurelle vise la description la plus exhaustive possible du système associé à la problématique choisie. C'est une technique d'analyse de système qui se penche sur le domaine étudié en procédant par étapes successives : le recensement des variables descriptives du système et de son environnement et leur explication, le repérage des relations entre ces variables et la recherche des variables essentielles ou clés [Godet N, 1991].
La problématique choisie pour notre travail est celle de l'application du principe d'une certification énergétique au Liban.

VII.2.1. Le recensement des variables

Cette étape consiste à recenser, à partir d'une étude pluridisciplinaire les variables susceptibles d'influencer le système étudié.

Nous distinguons deux types de variables :
- les variables internes étant celles qui caractérisent le système
- les variables externes étant celles constituant son environnement

Il est parfois difficile de définir une frontière permettant de distinguer les variables strictement internes ou externes car il existe de multiples flux d'information, de matière et d'énergie, entre le système et son environnement. La définition de la frontière et donc des variables n'est en outre jamais acquise et reste liée aux objectifs de l'étude.
Pour la certification énergétique, la construction des variables doit être faite de façon à nous renseigner sur l'importance des échanges entre les variables internes à la certification et son environnement.

Une définition de chaque variable est nécessaire et permet de s'entendre sur un langage commun et de faciliter le débat. Son but est de limiter les interprétations différentes pouvant surgir selon chaque point de vue. Sans la création de ces définitions, la réflexion et le repérage des interrelations paraissent difficiles [Cantin R., 1996].

VII.2.2. Mise en relation des variables

La deuxième étape consiste à identifier les relations entre variables en construisant un tableau à double entrée formant la matrice structurelle du système. Pour chaque élément matriciel représentant une liaison d'une variable sur une autre variable, nous nous interrogeons sur la nature de l'influence directe. Avant de conclure à l'existence d'une liaison entre deux variables, il nous faut répondre systématiquement à trois questions [Godet N, 1991]:

1) y-a-t-il bien influence directe de la variable *i* sur la variable *j*, ou bien la relation n'est-elle pas plutôt de *j* vers *i* ?(figure VII.1.a)
2) y-a-t-il influence de *i* sur *j*, ou bien n'y-a-t-il pas colinéarité, une troisième variable *k* agissant sur *i* et *j* ? (figure VII.1.b)
3) la relation de *i* à *j* est-elle directe, ou bien passe-t-elle par l'intermédiaire d'une autre variable *r* de la liste ? (figure VII.1.c)

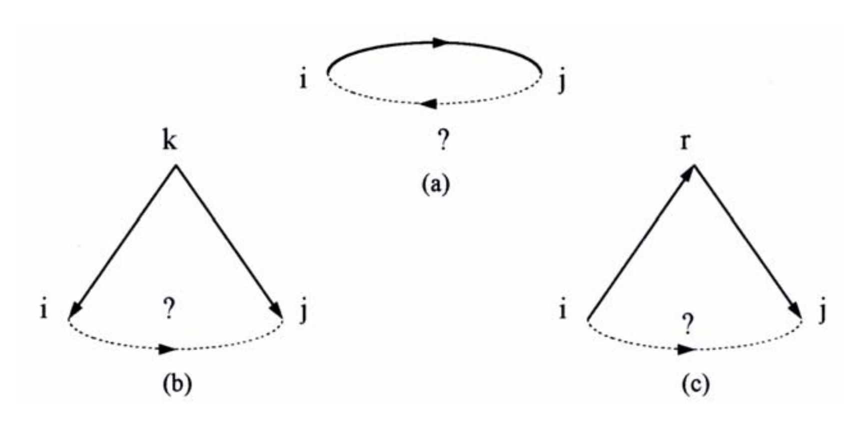


Figure VII.1: Types d'influence de i sur j

Cette procédure permet de vérifier systématiquement l'existence d'une véritable liaison directe entre deux variables.

Nous pouvons ainsi construire une matrice carrée où chaque i-ème ligne désigne les actions directes de chaque composante i sur les composantes placées sur les colonnes. Chaque élément matriciel de coordonnées (*i*, *j*) est alors affectée de la valeur correspondant à l'intensité directe de la variable *i* sur la variable *j* choisie selon une échelle définie, et d'une valeur 0 s'il n'y a pas de relation directe. La valeur de cet élément matriciel est appelé a_{ij} (figure VII.2).

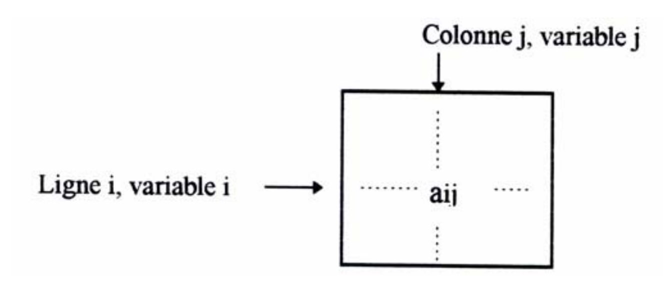
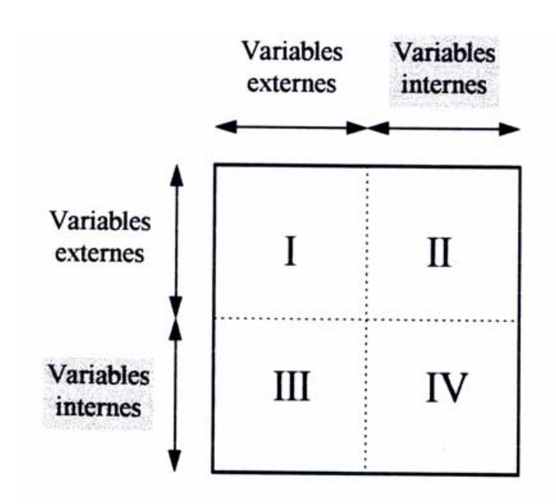


Figure VII.2: Représentation matricielle

Le remplissage de la matrice se fait de deux manières : en lignes, en notant l'influence de chaque variable sur toutes les autres, et en colonnes, en notant par quelles variables chaque variable est influencée (figure VII.3). Il peut être fait à partir de bases ou de recueil de données, de statistiques ou d'enquêtes mais également par une réunion d'experts.



I *Influence des variables externes sur elles-mêmes*

II Influence des variables externes sur les variables internes

III Influence des variables internes sur les variables externes

IV Influence des variables internes sur elles-mêmes

Figure VII.3: Forme de la matrice

Le remplissage de la matrice peut être qualitatif (existence ou non-existence des relations) mais aussi quantitatif suivant une échelle définie.

Nous utilisons les informations données dans les chapitres précédents, qui sont issues d'enquêtes, d'études sur le terrain et d'entretiens, pour le remplissage de la matrice de la certification énergétique. Ne disposant pas de critères et de moyens nous permettant de mesurer avec précision les intensités des liaisons, nous utilisons dans la suite des échelles intermédiaires à 4 et 5 niveaux.

VII.2.3. Recherche des variables essentielles

Il s'agit d'identifier les variables essentielles en effectuant un classement direct déterminé à partir de la motricité et de la dépendance de chaque variable :

- la motricité d'une variable est caractérisée par la somme des actions qu'elle a sur les autres, c'est-à-dire par la somme des valeurs notées dans la matrice sur la ligne correspondant à cette variable.
- la dépendance d'une variable est la somme des valeurs notées sur la colonne correspondant à la variable (figure VII.4).

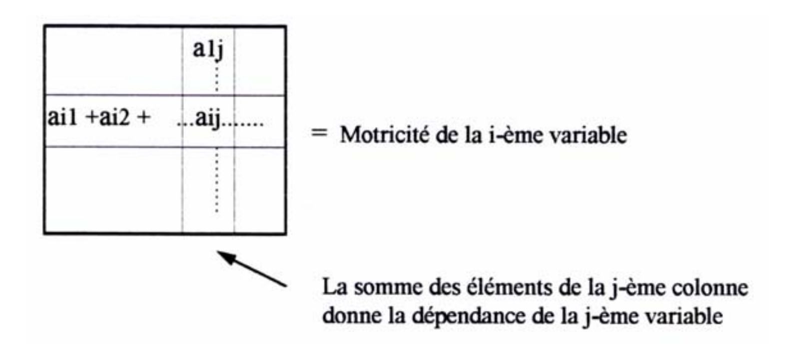


Figure VII.4: Définition de la motricité et de la dépendance

La motricité directe d'une variable est déterminée par son caractère influant. Ainsi, une variable sera plus moteur si elle a plus d'influence sur les autres variables et plus dépendante si elle est plus influencée par les autres variables. Ceci nous permettra de dessiner un plan (appelé plan motricité-dépendance) ayant pour axes la motricité et la dépendance. Le découpage de ce plan permet de classer les variables en fonction du rôle qu'elles jouent dans le phénomène étudié (figure VII.5).

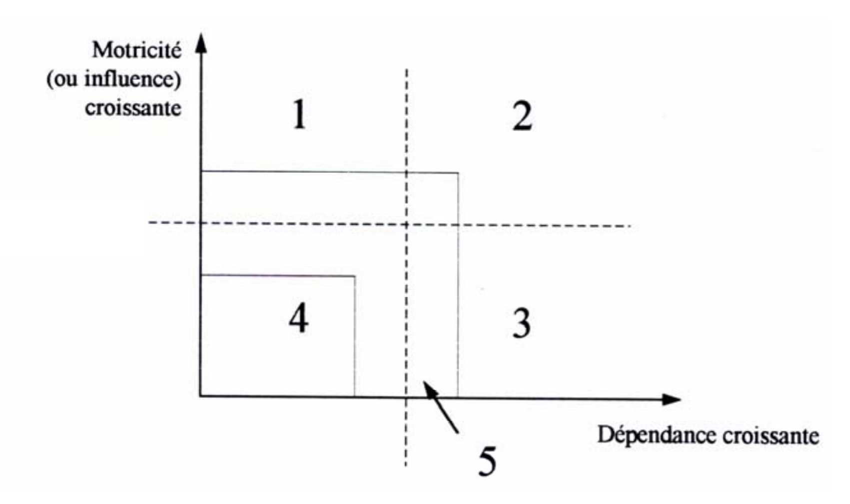


Figure VII.5: Secteurs du plan motricité-dépendance

Les secteurs peuvent être définis comme suit [Godet N, 1991]:

- Secteur 1 : les variables sont très motrices et peu dépendantes. Ce sont des variables explicatives qui conditionnent le reste du système.
- Secteur 2 : les variables sont à la fois très motrices et très dépendantes. Ce sont des variables relais par nature instables. En effet, toute action sur ces variables aura des répercussions sur les autres et un effet retour sur elles-mêmes.
- Secteur 3 : les variables sont peu motrices et très dépendantes. Ce sont des variables résultats dont l'évolution s'explique par les variables des secteurs 1 et 2.
- Secteur 4 : les variables sont peu motrices et peu dépendantes. Ces variables constituent des tendances lourdes ou des facteurs déconnectés du système avec lequel elles n'ont que peu de liaisons, en raison de leur développement relativement autonome.
- Secteur 5 : les variables sont moyennement motrices et/ou dépendantes.

VII.2.4. Classement direct et classement indirect

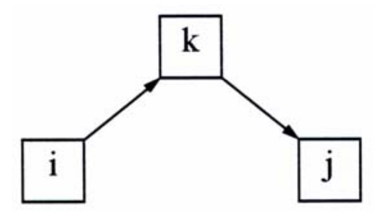
La matrice d'interaction, telle que nous venons de la décrire, ne reflète cependant que des influences directes. Outre les relations directes, il peut exister des actions indirectes entre variables.

En utilisant une méthode de multiplication matricielle appliquée à la matrice structurelle, nous pouvons déceler les variables qui peuvent être importantes compte tenu des liaisons indirectes et donc mieux comprendre la dynamique du système. Il s'agit de la méthode MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés-Multiplication Appliquée à un Classement)[Godet N, 1991] qui permet d'étudier la diffusion des impacts par les chemins et les boucles de réaction, et hiérarchiser les variables :

- par ordre de motricité, en tenant compte du nombre de chemins de longueur *1, 2, …, n*, issus de chaque variable
- par ordre de dépendance, en tenant compte du nombre de chemins de longueur *1, 2, …, n*, arrivant sur chaque variable.

Le principe de la méthode s'appuie sur les propriétés des matrices booléennes rappelées ci-après.

Si la variable i influence directement la variable k et si k influence directement la variable j, nous avons le schéma suivant :



Dans ce cas, tout changement affectant la variable *i* peut se répercuter sur la variable *j*. Il y a une relation indirecte entre *i* et *j*.

Il existe dans la matrice d'analyse structurelle de nombreuses relations indirectes du type *i* vers *j* que le classement direct ne permet pas de prendre en considération. L'élévation au carré de la matrice met en évidence les relations d'ordre 2 entre *i* et *j* (figure VII.6).

En effet, $M^2 = M*M = (a_{ij}^2)$

Avec $a_{ij}^2 = \sum_k a_{ik} a_{kj}$

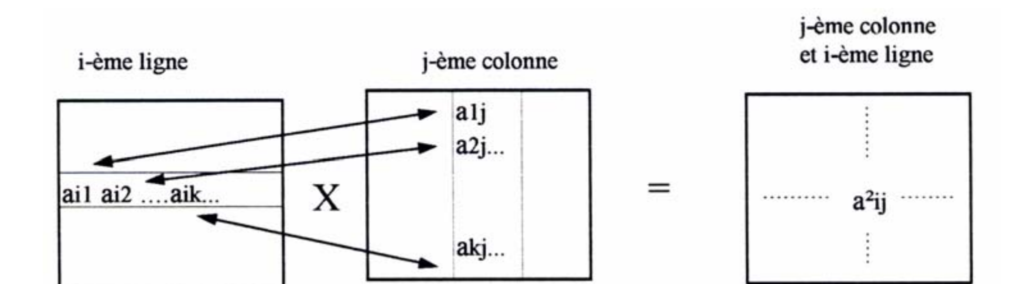


Figure VII.6: Principe du produit matriciel

Si a_{ij}^2 n'est pas nul , c'est qu'il existe au moins un *k* tel que $a_{ik}.a_{kj} =1$, c'est-à-dire qu'il existe au moins une variable intermédiaire *k* telle que la variable *i* agisse sur *k* ($a_{ik}>0$) et que la variable *k* agisse sur la variable *j* ($a_{kj}>0$). Il y a ainsi un chemin d'ordre 2 allant de *i* vers *j*.

En élevant successivement la matrice en puissance, nous obtenons de la même façon les chemins d'influence d'ordre *3, 4,…,n*, reliant les variables entre elles.

Lorsque nous constatons que l'élévation en puissance ne modifie plus la hiérarchie des variables, c'est que tous les chemins d'influence ont été détectés [Cantin R., 1996].

VII.2.5. Apports et limites de la méthode

La méthode d'analyse présentée vise à aider le décideur, et non à prendre sa place. Elle ne prétend pas décrire avec précision la structure et le fonctionnement du système, mais plutôt

mettre en évidence les grands traits de son organisation. Elle sert à donner un cadre de référence conceptuel qui aide à organiser les connaissances.

Une des limites de la méthode présentée provient du caractère subjectif de la liste des variables. Le nombre de variables ne pouvant pas excéder quelques dizaines, cela conduit à regrouper plus ou moins arbitrairement des sous-variables ayant trait à une même dimension du problème. L'autre aspect subjectif provient du remplissage de la matrice et de l'intensité donnée aux liaisons entre les variables [Godet N, 1991].

VII.3. L'application du principe d'une certification énergétique

VII.3.1. Etude des variables

Nous considérons dans cette partie l'application du principe d'une certification énergétique au Liban comme le phénomène à étudier. Afin d'appliquer l'analyse structurelle, il faut choisir les variables caractérisant la certification elle-même et celles caractérisant son environnement. Le projet Bâtiment 2030 [Ademe et CSTB, 1992] nous a servi de référence pour cette partie de l'étude. Il s'agit d'une action de recherche lancée en 1991 en France par l'ADEME et le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) sur le thème de la prospective du secteur résidentiel et tertiaire dans le domaine du bâtiment.

Notre choix repose également sur les résultats de nos enquêtes (voir chapitres I et II) ainsi que sur des entretiens avec des personnes liées aux domaines du bâtiment, de l'énergie et de l'environnement.
Compte tenu de nos moyens d'étude (difficulté de réunir des experts, limites de la méthode de l'analyse structurelle) ainsi que des informations en notre possession et de l'objectif de notre démarche, nous avons limité le nombre des variables.

Nous avons caractérisé la certification énergétique par trois variables internes qui sont : le confort et la facture énergétique dans les bâtiments, la recherche et développement du secteur bâtiment et la procédure de certification énergétique.

En effet, pour qu'il soit appliqué, le principe de la certification énergétique a besoin d'une procédure adaptée au contexte du pays et applicable sur le terrain. Pour cela, la procédure développée EC-Pro figure parmi les variables internes, ce qui permet d'étudier son évolution.
Nous avons montré dans le chapitre II l'importance que revêtent le confort et la facture dans les bâtiments résidentiels et qui sont inséparables du principe de la certification.
Par ailleurs, l'absence de réglementation thermique ou énergétique dans les bâtiments et des études spécifiques aux bâtiments comme celles traitant la part des bâtiments dans les impacts environnementaux, nous pousse à considérer le secteur de la recherche et développement comme un élément interne à la certification.

Pour identifier les variables de l'environnement de la certification appelées variables externes, nous avons utilisé une démarche itérative. Cette démarche consiste à lister toutes les variables pouvant appartenir à l'environnement de la certification et à :

- réfléchir au contenu de chaque variable afin d'éviter les répétitions et d'homogénéiser le niveau d'approche ;
- pouvoir conclure à l'existence ou non d'une liaison entre deux variables à partir des données en notre possession.

Nous obtenons ainsi en procédant par agrégations et suppressions les variables suivantes :
Variables liées à l'énergie : Structures de production et de distribution énergétiques
Variables économiques : Coût des énergies, coût et disponibilité des matériaux et des appareils, politique de financement et d'aide
Variables environnementales : Contraintes environnementales et climatiques
Variables institutionnelles : Législation et réglementation

Nous donnons ainsi la définition des variables choisies :

1. Le confort et la facture énergétique dans les bâtiments

Le confort dans les bâtiments comprend l'ensemble des éléments répondant aux attentes et aux besoins des occupants en matière d'ambiance (confort thermique, acoustique et visuel). L'importance de l'aspect 'mieux-vivre' implique l'utilisation des équipements et des systèmes et donc une consommation d'énergie. La facture énergétique s'obtient par tous les aspects liés à cette consommation.

2. Recherche et développement du secteur bâtiment (R et D)

Ce secteur comprend les activités et les études concernant le bâtiment et ses équipements. Il est fortement dépendant des moyens financiers dont il est doté, de la disponibilité de chercheurs et de l'existence de structures d'encadrement et d'accueil adaptées.

3. La procédure de certification énergétique

La procédure de certification énergétique développée donne aux occupants des informations liées à leur habitation et leur consommation et propose différentes améliorations afin de réduire leur facture énergétique.

Elle prend en compte tous les aspects liés à la consommation d'énergie dans un bâtiment (la qualité de l'enveloppe, la performance des équipements et des systèmes et la conduite énergétique des occupants).

4. Structures de production et de distribution énergétiques

Les choix faits en matière de production énergétique, d'utilisation d'énergies renouvelables et de distribution (électricité, gaz, etc), conduisent à modifier sensiblement l'équipement et même la conception des bâtiments.

5. Coût des énergies

Le coût de l'énergie comprend le prix de l'énergie utilisée lors de la construction ou au cours de la vie du bâtiment (gaz, électricité, mazout, etc).

6. Coût et disponibilité des matériaux et des équipements

Les matériaux et les équipements concernés sont notamment ceux liés à l'amélioration du bâtiment : les produits d'isolation, les équipements performants, les appareils de chauffage, etc.

7. Politique de financement et d'aide

Ce sont les moyens d'intervention mis en œuvre par l'Etat, moyens reposant sur une aide publique (réduction d'impôts, financement tiers, etc).

8. Contraintes environnementales et climatiques

Ces contraintes, qui peuvent être d'ordre législatif, normatif ou réglementaire, concernent soit l'émission de déchets et de pollution soit la protection contre ces pollutions ou nuisances.

Celles-ci sont liées aux matériaux de construction (incidence sur les réserves en matières premières, sur la qualité de l'air intérieur), à l'énergie utilisée pour les besoins des occupants, aux bruits extérieurs et intérieurs aux bâtiments, etc.
Il existe également des contraintes liées aux changements climatiques (réchauffement global de la planète, destruction de la couche d'ozone stratosphérique, etc) qu'ils soient induits par les influences naturelles ou par les perturbations dues à l'activité humaine, ont une influence directe en particulier sur la consommation d'énergie des bâtiments, le choix de ces énergies, la conception des bâtiments, le choix de leurs équipements, etc.

9. Législation, réglementation

Il s'agit de l'ensemble des mesures législatives et des réglementations nationales liées au secteur du bâtiment.

Les résultats de nos différentes enquêtes ont servi de base au remplissage de la matrice (tableau VII.1). Nous avons choisi une échelle qui compte quatre niveaux d'intensité des relations directes : fortes, moyennes, faibles et nulles. Ces intensités sont notées respectivement par les valeurs 3, 2, 1 et 0. Les éléments de la diagonale sont nuls car nous ne prenons pas en compte l'influence d'une variable sur elle-même.

Nous prenons à titre d'exemple la case de l'influence de la politique de financement et d'aide sur la certification. C'est une influence moyenne (égale à 2). En effet, des aides ou incitations financières spécifiques à la maîtrise de l'énergie dans l'habitat (prêts, taux préférentiels, déductions fiscales, etc) ainsi que pour la R et D, ont une influence sur l'application de la procédure de certification. L'amélioration du bâtiment, la réhabilitation et la réduction des consommations dans le secteur résidentiel, dépendent du niveau de ces aides.

	Influence de/ sur	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	**Motricité**
1	Confort et facture énergétique dans les bâtiments	0	1	2	0	0	1	0	1	1	**6**
2	R&D spécifique du secteur du bâtiment	2	0	3	1	0	1	0	1	2	**10**
3	La certification énergétique	2	2	0	0	0	1	1	1	2	**9**
4	Structures de production et de distribution énergétiques	0	1	1	0	3	0	0	2	0	**7**
5	Coût des énergies	1	0	2	3	0	0	1	0	0	**7**
6	Coût et disponibilité des matériaux et des équipements	1	0	1	0	0	0	0	0	1	**3**
7	Politique de financement et d'aide	0	2	2	0	0	0	0	1	1	**6**
8	Contraintes liées à l'environnement et au contexte climatique	0	3	2	3	0	0	1	0	1	**10**
9	Législation, réglementation	0	1	2	0	0	0	0	2	0	**5**
	Dépendance	**6**	**10**	**15**	**7**	**3**	**3**	**3**	**8**	**8**	

Tableau VII.1: Matrice structurelle

Les résultats sont représentés dans le plan motricité – dépendance comme indiqué au VII.2.3. qui permet d'analyser les variables en fonction du rôle qu'elles jouent dans l'application de la certification énergétique au Liban (figure VII.7).

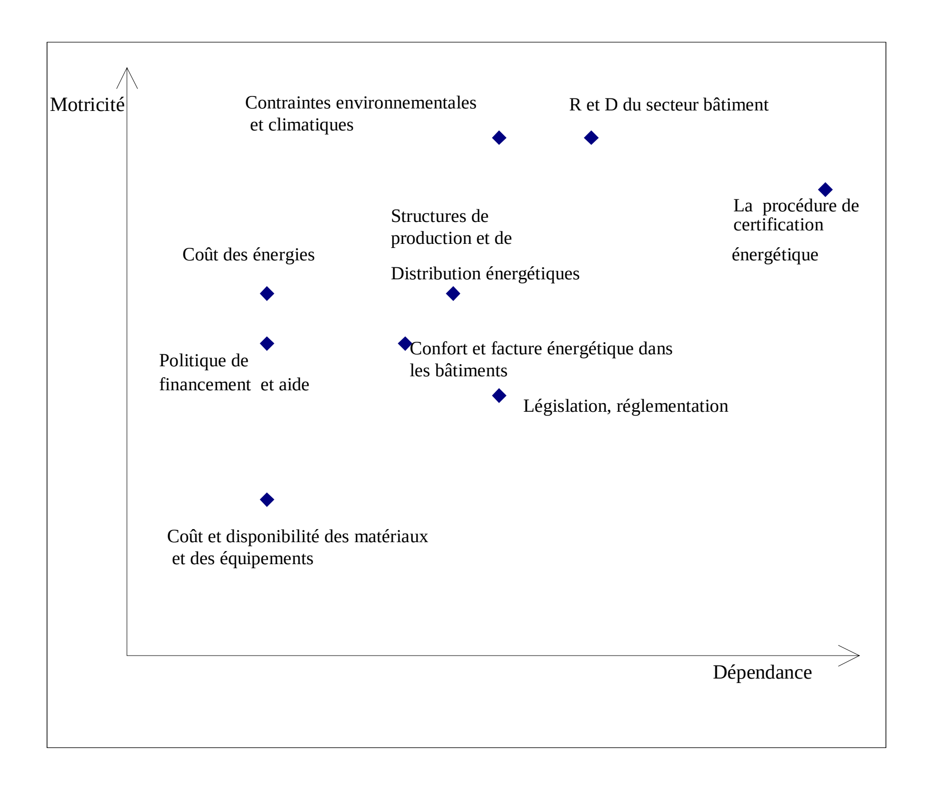


Figure VII.7: Plan motricité-dépendance

La forme du nuage de points qui se dessine sur le plan de la figure VII.8 laisse apparaître une instabilité du phénomène étudié. Le triangle liant les variables internes montre que le système « certification énergétique » est très instable et peut bouger avec le mouvement de ses variables.

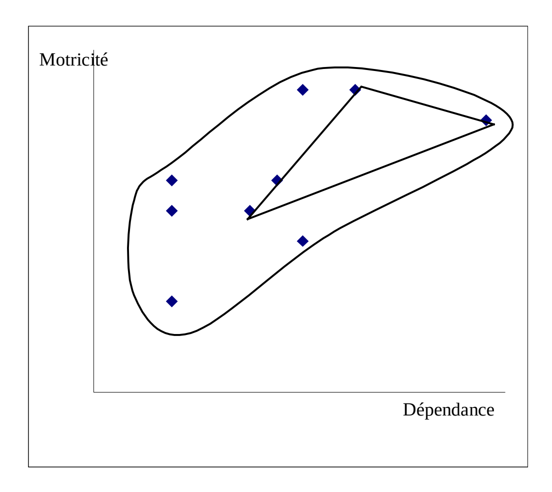


Figure VII.8: Nuage de points

L'application de la méthode MICMAC sur la matrice nous a permis de déceler les influences indirectes (tableau VII.2). Le système devient stable à partir de la puissance 3 (M^3).

Classement motricité

Dans le tableau VII.2, nous donnons, pour chacune des 9 variables, le rang pour les relations directes (M) et les relations indirectes (M^3) ainsi que la variation de ce rang entre M et M^3 (désignée par les flèches). Les rangs sont classés de 1 à 9 par ordre croissant de motricité ou de dépendance.

Variables / Rang	Direct (M)	Indirect (M^3)
1. le confort et la facture énergétique dans les bâtiments	6	6
2. Recherche et développement du secteur bâtiment	9	1
3. La procédure de certification énergétique	1	9
4. Structures de production et de distribution énergétiques	7	7
5. Coût des énergies	5	5
6. Coût et disponibilité des matériaux et des appareils	4	4
7. Politique de financement et d'aide	3	3
8. Contraintes environnementales et climatiques	2	2
9. Législation, réglementation	8	8

Tableau VII.2: Classement direct et indirect de la motricité

Classement dépendance

Comme pour la motricité, nous donnons dans le tableau VII.3 le rang de la dépendance.

Variables / Rang	Direct	Indirect
1. le confort et la facture énergétique dans les bâtiments	6	5
2. Recherche et développement du secteur bâtiment	7	7
3. La procédure de certification énergétique	5	6
4. Structures de production et de distribution énergétiques	1	4
5. Coût des énergies	4	1
6. Coût et disponibilité des matériaux et des appareils	8	8
7. Politique de financement et d'aide	9	9
8. Contraintes environnementales et climatiques	2	2
9. Législation, réglementation	3	3

Tableau VII.3: Classement direct et indirect de la dépendance

Nous remarquons que des influences indirectes existent entre :

- la R et D et la certification énergétique
- les structures de production et de distribution énergétiques et le coût des énergies
- le confort et la facture dans les bâtiments et la procédure de certification énergétique

VII.3.2. Analyse des résultats

Le confort et la facture énergétique dans les bâtiments (variable peu motrice et peu dépendante) :
Le confort est généralement insuffisant dans les bâtiments au Liban, aussi bien pendant la saison froide que la chaude. L'enquête réalisée en 1998 (voir chapitre II) a montré que 44% des gens trouvent leur logement inconfortable et que la plupart trouvent leur facture lourde. Cependant, le confort et la facture n'apparaissent pas comme l'enjeu le plus fort pour une certification énergétique par rapport à l'environnement ou à la politique de financement. Mais ces deux facteurs peuvent contribuer à la mise en place et au développement d'une certification qui propose des solutions énergétiques et économiques répondant aux besoins des occupants. Cette amélioration des performances énergétiques assurerait la possibilité d'avoir un meilleur confort à un coût moins élevé.

La R & D (variable très motrice et dépendante) représente un moyen d'action important pour l'évolution de la certification. Adaptée aux particularités du pays, la R et D peut faire progresser l'efficacité énergétique et le niveau de confort dans les bâtiments et contribuer à la mise en place d'une éventuelle réglementation thermique ou énergétique.

Les structures de production et de distribution énergétiques influencent directement le coût des énergies et agissent sur les contraintes environnementales. Selon leurs évolutions, elles peuvent produire soit une réduction, soit une augmentation, des coûts énergétiques et environnementaux des bâtiments résidentiels.
D'après la situation du secteur d'énergie au Liban (voir I.2.3.), le pays doit adopter une politique de maîtrise d'énergie qui pourra arrêter la croissance des dépenses énergétiques par une meilleure adaptation des moyens de production, distribution et stockage [Menguy G., 1993].

Le coût des énergies (variable essentiellement motrice), directement dépendant des structures de production et de distribution, joue un rôle majeur dans la mise en œuvre d'une certification. Le déficit du secteur public de l'électricité au Liban entraîne un retard d'investissement, souvent un déficit de puissance et des délestages. Cette situation pourra évoluer avec le choix d'une politique qui pourra:

- adapter l'offre à la demande et maîtriser les prix
- adopter une politique de tarification de l'énergie qui reflètera le coût réel c'est-à-dire le coût direct majoré du coût de la dépollution [Menguy G., 1993].

Nous retrouvons ici le rôle des *contraintes environnementales et climatiques* (variable très motrice) qui conditionnent fortement l'évolution de la certification énergétique. Nous avons montré un grand nombre de problèmes environnementaux ainsi que la sensibilité des libanais à ces problèmes de l'environnement (voir I.4.4.6. et I.2.4). Les effets néfastes de la consommation et de la production d'énergie peuvent être tempérés par une réduction de la consommation, ou par une réorientation de l'approvisionnement énergétique vers des options plus compatibles avec des objectifs d'une maîtrise d'énergie.

Le coût (et la disponibilité) des matériaux et des équipements n'apparaît pas aujourd'hui comme un déterminant pour l'avenir. Il évolue dans le présent et n'est pas un réel moyen d'action pour le moyen et le long terme. Objet de campagnes de communication, sur le court terme, il risque de masquer les véritables enjeux de la certification.

La politique de financement et d'aide joue un rôle important en donnant des moyens à la R et D qui doit proposer des solutions aux problèmes rencontrés, et en favorisant directement l'application d'une certification. Elle définit le mode d'application de la certification (voir chapitre III). Par une participation financière aux améliorations proposées, elle peut influencer l'évolution d'une certification.

La législation et la réglementation sont dépendantes et peu motrices dans une analyse directe. Les mesures réglementaires répondent en fait à des besoins existants de réduction de consommation ou d'amélioration de confort. Evaluées dans le futur, elles peuvent jouer sur la mise en place d'une certification et contribuer directement à une réduction des nuisances environnementales.

La procédure de certification énergétique (variable très motrice et très dépendante) :
Les défauts de l'habitat au Liban mis en évidence dans le chapitre II conduisent à une mauvaise efficacité énergétique des bâtiments et donc à un fort potentiel d'économie d'énergie.
Dans ce sens, la procédure de certification apparaît comme un moyen d'action important. Elle a de nombreuses répercussions, en particulier sur le confort et la facture énergétique, la R et D et la législation. Mais elle est aussi influencée en retour par ces mêmes variables et par le coût des énergies. Elle joue le rôle d'un indicateur de l'évolution passée et présente de la consommation énergétique et constitue également un levier d'action pour contrôler la facture énergétique. Elle dépend essentiellement des influences externes au bâtiment, en particulier des contraintes économiques, environnementales et climatiques.

VII.4. Les acteurs de la certification

L'attitude prospective ne consiste pas à attendre le changement pour réagir, elle vise à maîtriser le changement dans le double sens de la pré-activité (que faire si…, comment se préparer à un changement attendu ?) et de la pro-activité (comment provoquer un changement souhaité, comment faire pour ?).
Pour cela, il est intéressant d'identifier les acteurs liés aux variables de la certification énergétique et de déceler les relations existantes entre eux.

VII.4.1. Identification des principaux groupes d'acteurs

Les acteurs choisis sont ceux qui peuvent agir sur les variables importantes telles que la procédure de certification, qu'ils soient politiques, économiques, sociaux, etc, mais également ceux qui ont un fort impact sur son évolution.
Beaucoup d'acteurs ont été regroupés en un acteur unique compte tenu d'une part du moindre intérêt à connaître leurs positionnements individuels, et d'autre part dans le souci d'éviter un nombre trop important d'acteurs qui auraient beaucoup plus gêné l'analyse qu'il ne l'aurait enrichie.

Nous avons retenu 8 grands types d'acteurs impliqués dans l'application d'une certification énergétique au Liban :

1) **les pouvoirs publics, Ministères et Etablissements publics** : Conseil du Développement et de la Reconstruction CDR, ministère de l'habitat, ministère de l'environnement, ministère des travaux publics, ministère des Ressources Hydrauliques et Electriques, direction générale du Pétrole, etc.
2) **les prestataires de services** : Electricité Du Liban EDL, les compagnies des eaux (de Beyrouth, de Tripoli, etc), etc.
3) **les maîtres d'ouvrage** : maîtres d'ouvrage privés, institutionnels.
4) **les concepteurs** : architectes, bureau d'études et d'ingénierie, urbanistes conseil, etc.
5) **les industriels** : matériaux, produits, composants, appareils, négociants, etc.
6) **les usagers** : les occupants, les acquéreurs de logement, les propriétaires, etc.
7) **les entreprises et la main d'œuvre** : professionnels, artisans, petits et grands groupes,
8) **la recherche et le développement** : Conseil National de la Recherche Scientifique Libanais CNRSL, Université Libanaise : Faculté des Sciences et Faculté de génie, Université Américaine de Beyrouth, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth, Institut de la recherche industrielle de Beyrouth, Centre technologique du Moyen-Orient CERMOC, etc.

Ces acteurs sont évalués selon leurs objectifs, leurs moyens et leurs contraintes (tableau).

Acteurs	Objectifs	Moyens	Contraintes
1. Les pouvoirs Publics	Assurer la couverture des besoins de la Nation en matière de logement Assurer la sécurité de la population Respecter les directives signées à Kyoto Développer le pays	Les réglementations (codes de construction, etc) Inciter la recherche et développement	Santé économique globale Les moyens budgétaires Les changements politiques Les interférences entre ministères
2. Les prestataires des services	Promouvoir et développer leurs spécificités propres au niveau des services à offrir Développer une intégration verticale et horizontale basée sur l'ensemble des services à offrir Synergie de cohérence entre bâtiment et services	Multi-cohérence en matière de techniques, d'offre globale, d'ingénierie, de concessions, de projets Grande surface financière Rapports avec le monde politique Service à caractère social	L'eau et l'électricité sont gérées par l'Etat libanais Difficulté d'ouverture sur les autres marchés Manque de veille technologique et de capacité de communication
3. Les maîtres d'ouvrage	Faire construire ou rénover des bâtiments ayant vocation à être vendus, loués ou occupés par eux-mêmes, dans un optimum économique (de coût de construction et/ou de gestion) Assurer l'équilibre financier des opérations	Amélioration du confort et de la qualité des logements Partenariat avec l'Etat et les collectivités territoriales Veille technique	Problème du coût foncier Manque de formation professionnelle
4. Les concepteurs	Participer au cahier des charges des projets Affirmer leur capacité à manager et à gérer la globalité d'un projet	Meilleure formation pluridisciplinaire Prise en compte des questions de confort et d'environnement Recherche de partenariat avec ingénieurs, entreprises et professionnels du bâtiment	Difficulté à investir Difficulté de planifier leur niveau d'activité et leurs ressources humaines Mutation des métiers du bâtiment
5. Les industriels	Développement de leur part de marché et leur chiffre d'affaires au niveau national et international Développement de nouveaux produits Développement de partenariat : commerciaux et professionnels Amélioration de la qualité Adaptation des produits aux marchés et Prise en compte de nouvelles dimensions (environnement, maîtrise de l'énergie, …) pour tous les composants	Prise en compte des us et coutumes locaux depuis la conception, fabrication, montage, jusqu'au démontage/recyclage, élimination Sélection des composants	Comportement de certains maîtres d'ouvrage Délais de livraison/montage Difficulté de construction de la chaîne (industrie, négoce, professionnels, maîtres d'ouvrage, entreprises) Resserrement du marché du bâtiment
6. Les usagers	Habitat harmonieux et durable, confort, santé, sécurité, environnement Développement de plans de financement adaptés	Normes pour la construction et la réhabilitation Relance d'incitations	Coût du foncier Baisse du pouvoir d'achat Difficulté d'apprécier la qualité pour les nouveaux accédants à la propriété
7. Les entreprises et la main d'œuvre	Développer leur gain ou leur chiffre d'affaires et des parts de marché Maintenir une souplesse d'adaptation aux fluctuations des marchés Accroître la productivité sur les chantiers	Organisation des chantiers Relance de l'activité du bâtiment Mise en œuvre de partenariats Création d'emplois	Formation insuffisante Comportement de certains maîtres d'ouvrage Concurrence de la main d'œuvre étrangère
8. La recherche et développement	Equilibrer l'offre des produits et de formations par rapport aux évolutions des marchés et de la demande Faire évoluer la culture et le niveau de compétence des acteurs de la certification	Formation initiale (enseignement) centres techniques, politiques de recherche et développement	Faiblesse des financements consentis pour la recherche et développement Qualification des professionnels

Un tableau acteurs × variables permet de représenter et de mesurer :

- l'influence directe des acteurs sur les variables définies pour l'application de la certification
- la dépendance des variables par rapport aux acteurs

	Influence de/sur	Le confort dans les bâtiments	R&D spécifique du secteur bâtiment	La certification énergétique	Structures de production et de distribution énergétiques	Coût des énergies	Coût et disponibilité des matériaux et des équipements	Politique de financement et d'aide	Contraintes liées à l'environnement et au contexte climatique	Législation, réglementation
1	Les pouvoirs publics	p	2	p	2	2	1	3	1	3
2	Les prestataires des services	0	0	p	1	1	0	0	0	0
3	Les maîtres d'ouvrage	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Les concepteurs	1	0	1	0	0	0	0	0	0
5	Les industriels	0	0	0	0	0	2	0	0	0
6	Les usagers	2	0	1	0	0	0	p	0	0
7	Les entreprises et la main d'œuvre	0	1	1	0	0	2	0	0	1
8	La recherche/développement	1	3	p	0	0	0	1	1	2

Tableau VII.4: Acteurs × Variables

Chacune des cases du tableau indique le niveau d'action que peut mobiliser un acteur sur une variable. Nous reprenons l'échelle utilisée pour le système certification (3, 2, 1 et 0) en lui ajoutant un cinquième niveau d'intensité p. 'p' signifie une liaison potentielle c'est-à-dire une liaison sur laquelle nous nous interrogeons et que nous pouvons faire varier. En effet, il existe certains acteurs, aujourd'hui peu influents, qui pourraient l'être dans un contexte différent demain.

Par exemple, les pouvoirs publics peuvent avoir une influence plus ou moins importante sur le choix de la procédure de certification en favorisant un ou plusieurs aspects de cette certification (réduction de la consommation des appareils ou des systèmes, amélioration du confort thermique, etc). Mais cette influence est liée au mode d'application de la certification et de l'implication de l'Etat dans cette application d'où l'intensité p.
Dans le cas de la politique de financement et d'aide, ce sont les pouvoirs publics qui déterminent cette politique et ont donc une influence forte (intensité = 3) sur elle.

On apprécie l'influence directe d'un acteur en considérant les lignes du tableau. De la même façon, les colonnes du tableau permettent d'apprécier la plus ou moins dépendance directe des variables.

VII.4.2. Analyse des résultats

Nous utilisons une valeur de 1 pour p, c'est-à-dire nous considérons les liaisons p comme faibles, et nous traçons sur un axe l'influence des acteurs sur les variables liées à l'application de la certification.(figure VII.9)

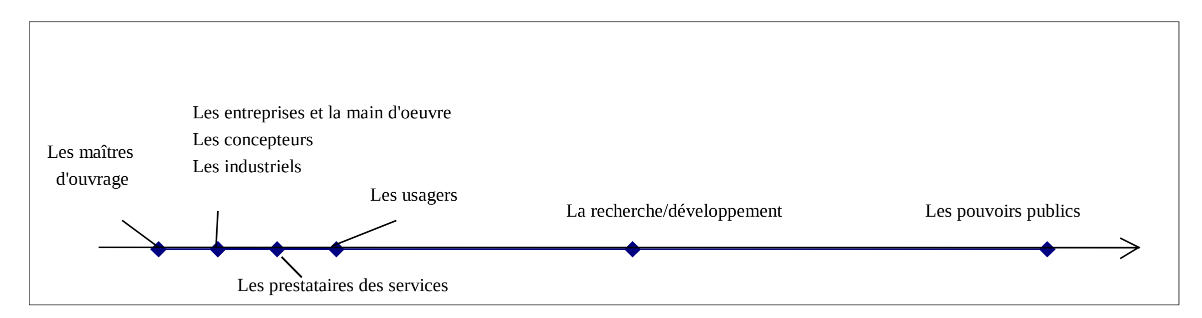


Figure VII.9: Influence des acteurs sur les variables liées à l'application de la certification

Un acteur influent est un acteur disposant de moyens d'action importants. C'est le cas des pouvoirs publics qui est un acteur qui pèse lourdement sur la certification énergétique au Liban à travers ses moyens (réglementations, recherche et développement) et ses objectifs.

Au contraire, un acteur peu influent possède moins de moyens d'action par rapport aux autres, c'est le cas du sous-ensemble comprenant les industriels, les concepteurs, les entreprises et la main d'œuvre, les prestataires des services et les maîtres d'ouvrage. Mais ce sous-ensemble forme une famille d'acteurs, qui, ensemble, peuvent avoir des possibilités d'être des leviers pour la certification.

L'application d'un principe telle que la certification énergétique au Liban dépend certes des pouvoirs publics mais dépend aussi d'acteurs de différents domaines. Par exemple la recherche et développement liés à l'enseignement et à la formation est importante pour la certification qui, au Liban, a besoin de tous les efforts de R et D afin d'être bien adaptée.

Les usagers ont une influence sur les besoins et les attentes. Après la guerre, et après la résolution des problèmes de livraison de combustible, les libanais sont devenus plus conscients de leur consommation énergétique et manifestent le besoin d'une assistance technique afin de concilier confort et facture (comme nous l'avons montré dans l'enquête présentée au chapitre II).

En résumé, l’acteur le plus influent, à savoir les pouvoirs publics, est celui qui est capable de mettre en place les règles d’application de la certification, notamment par le biais de la réglementation. Le mieux pour activer le système certification, serait globalement de faire évoluer le sous-ensemble, pour que ses acteurs deviennent un peu plus moteurs.

L’axe de la dépendance directe des variables de la certification par rapport aux acteurs est présenté dans la figure VII.10.

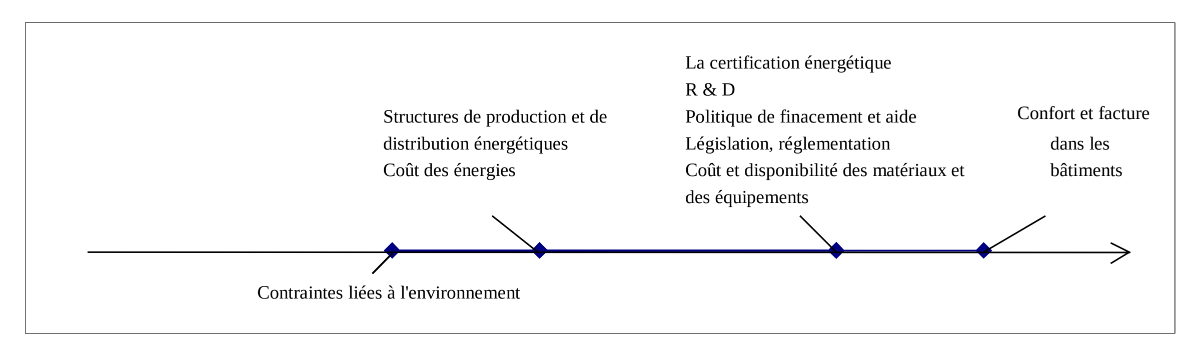


Figure VII.10: Dépendance des variables par rapport aux acteurs

Cet axe montre deux sous-ensembles :

- le premier sous-ensemble est formé par les variables les plus dépendantes par rapport aux acteurs : confort et facture dans les bâtiments, politique de financement et aide, la législation et la réglementation, la certification énergétique, le coût et la disponibilité des matériaux et des équipements et la R et D. Ce sont des variables qui dépendent de l’action des acteurs concernés.
- le deuxième sous-ensemble comprend les variables les moins dépendantes : structures de production et de distribution énergétiques, coût des énergies et contraintes environnementales. La dépendance directe est faible car elle passe par d’autres variables avant d’atteindre ce sous-ensemble. En effet, ces variables dépendent surtout des pouvoirs publics.

En prenant p=2 (influence moyenne), la dépendance de la certification augmente car les acteurs deviennent plus influents et jouent un rôle plus important.

Nous pouvons alors dire que les système certification évolue en fonction des acteurs desquels dépendent les différentes variables.

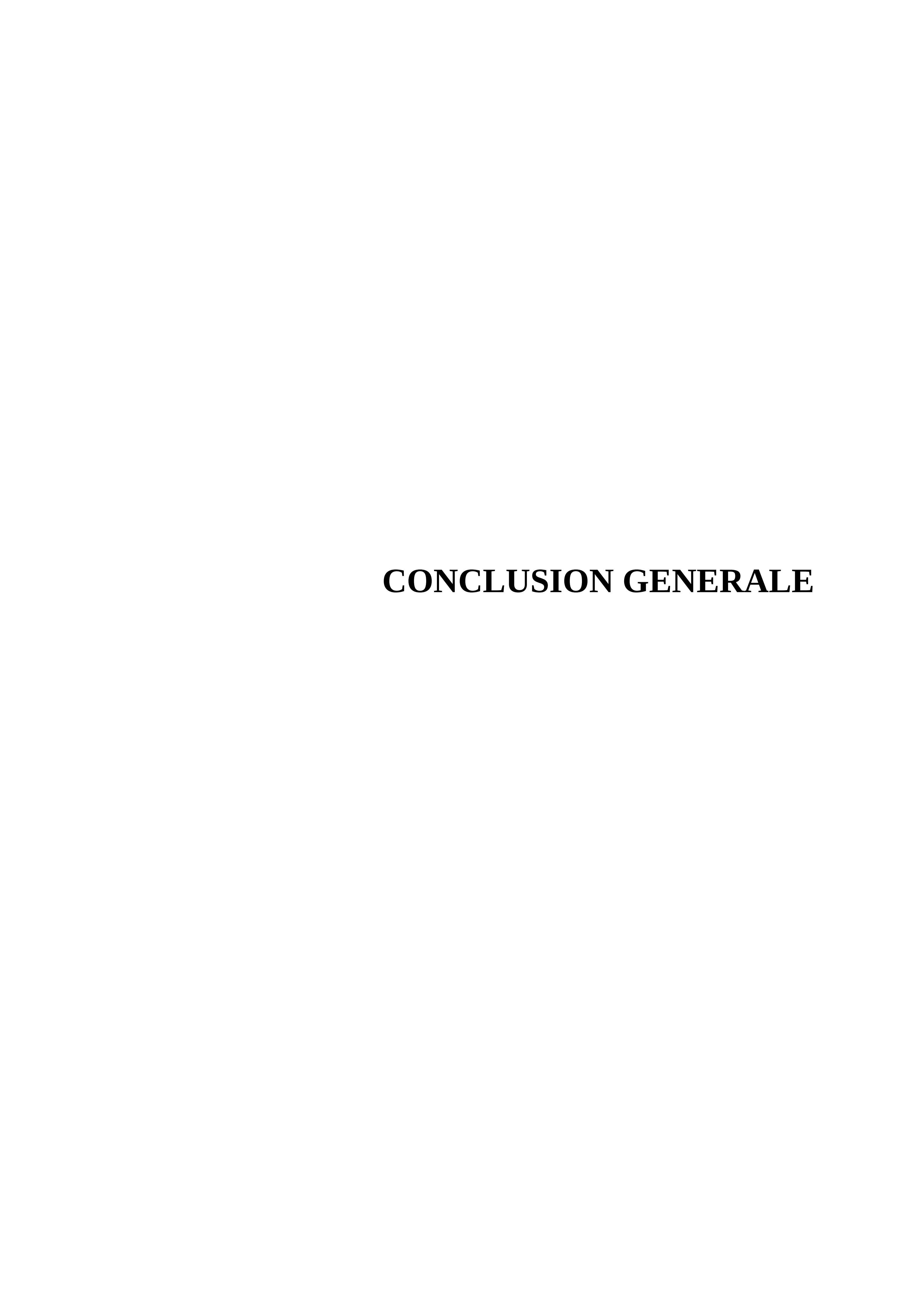
VII.5. Conclusion

Dans le contexte libanais, où l’énergie est presque totalement importée, le défi serait de maîtriser la demande en énergie d’une population en extension (TCAM démographique de 2.9%) et une économie en développement tout en respectant les impacts sur l’environnement et les tensions financières liés aux investissements dans le secteur énergétique et aux factures d’importation de l’énergie.

Cette première approche prospective a montré que la certification énergétique apparaît comme un véritable enjeu dans un processus de maîtrise de la consommation énergétique. C’est sur des variables instables qui représentent de forts enjeux que les acteurs peuvent intervenir, c’est-à-dire : sur la certification énergétique, la R et D et les contraintes environnementales et climatiques.

L’acteur le plus important est « les Pouvoirs publics » mais il existe une famille d’acteurs pouvant jouer un rôle dans l’évolution de la certification (les entreprises, les concepteurs, les industriels, les maîtres d’ouvrage, les prestataires des services).

La certification donne toutefois une réponse rapide à mettre en œuvre pour anticiper et maîtriser une évolution énergétique.



CONCLUSION GENERALE

Adopter une politique énergétique saine au Liban, où l'énergie est presque totalement importée, est la seule façon de relever le défi d'une maîtrise de la demande en énergie, tout en contribuant à la diminution de l'impact sur l'environnement et des tensions financières liées aux investissements dans le secteur énergétique et aux factures d'importations. Dans ce contexte, la certification énergétique des bâtiments apparaît comme un véritable enjeu dans un processus de maîtrise de la consommation énergétique.

En premier lieu, nous avons tenté d'identifier les problèmes de la construction et les besoins des occupants au Liban moyennant des enquêtes et des études in-situ. Une analyse des méthodes de certification existantes a montré que ces méthodes se contentent d'évaluer une consommation standard en se basant sur des conditions normalisées pour le climat et l'usage. Elles ne répondent donc pas aux attentes des usagers davantage préoccupés par leur facture énergétique répartie par usage et par des informations personnalisées que par une consommation standard.

Notre contribution principale était de développer une procédure de certification énergétique des bâtiments 'EC-Pro' capable de prendre en compte le comportement des occupants. En ce sens, EC-Pro apparaît comme une méthode originale qui permet d'évaluer la consommation énergétique d'un bâtiment pour un usage standardisé ainsi que la performance réelle prenant en compte la conduite énergétique des occupants. Elle donne aux occupants des informations quant à la performance énergétique de leur habitation, de leurs systèmes, quant à la répartition par usage de leur facture énergétique en relation avec leur comportement et propose différentes améliorations afin de réduire leur facture énergétique. A ces apports s'ajoutent la caractérisation, par cette procédure, des données d'occupation et la définition du comportement des occupants à partir d'une analyse sur site et des mesures d'une courte durée (de l'ordre de la semaine). En particulier, nous avons étudié l'importance du rôle des gains internes dans le bilan énergétique du bâtiment la prise en compte des déperditions par les systèmes.

Une analyse de sensibilité a montré l'importance de l'approche sur site surtout pour certains paramètres d'entrée tels que la température intérieure. Nous nous sommes ensuite intéressés à l'application sur des bâtiments réels, particulièrement au calcul des consommations et des possibilités d'économie réalisables au Liban à travers l'étude complète de quatre logements.

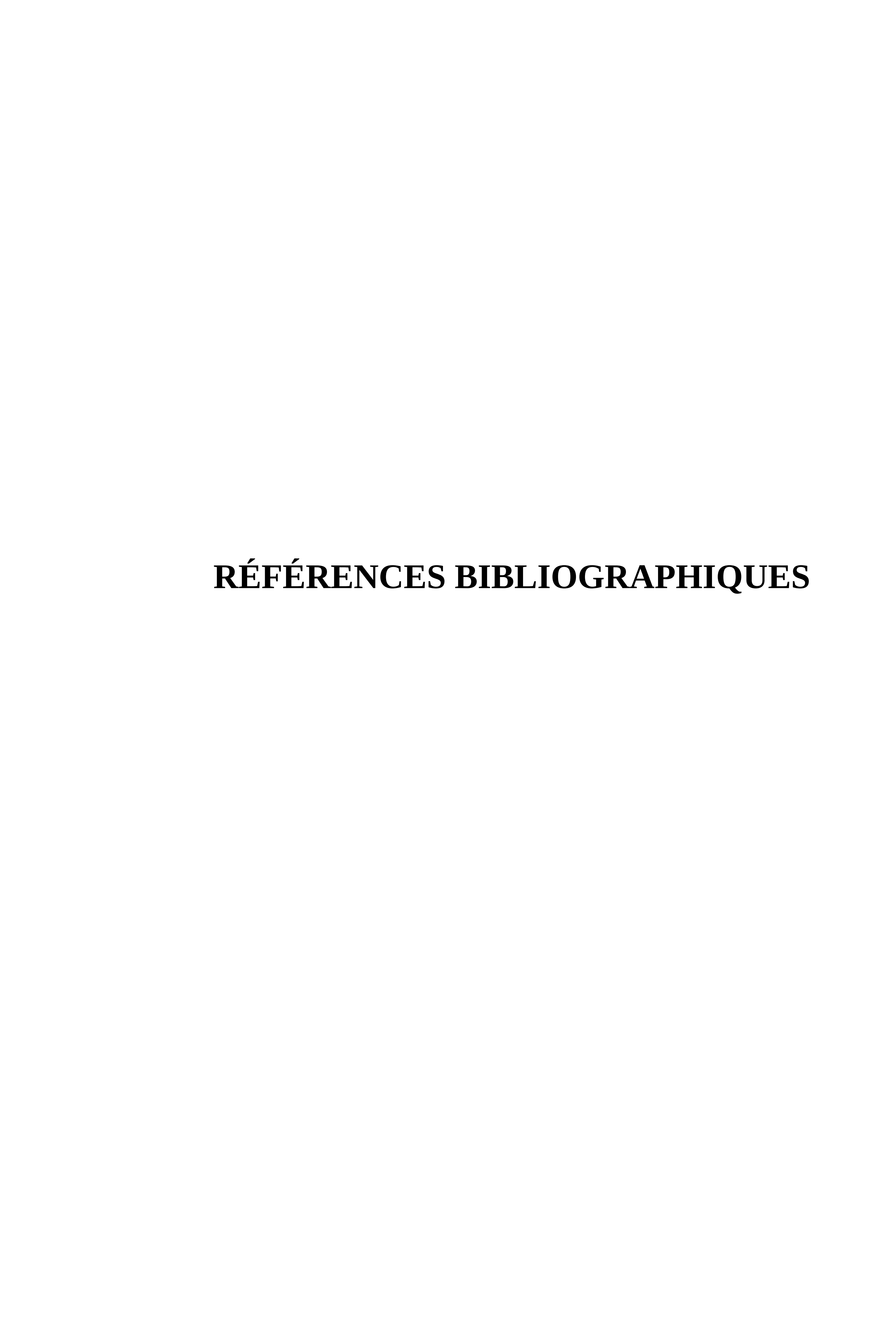
La suite possible de notre travail consisterait à appliquer EC-Pro à un échantillon plus important de bâtiments au Liban et à l'adapter aux besoins des professionnels.
En l'état actuel, nous pouvons donc fournir au milieu professionnel une procédure complète et simple d'utilisation, mais encore limitée au cas de maisons individuelles et d'appartements (avec deux conditions aux limites : espace non chauffé ou espace chauffé à la même température). Le cas de bâtiments plus complexes, en particulier multizones, nécessite une extension du calcul que nous n'avons pas encore entreprise. D'autres applications seront envisageables (prévision de budget, contrat d'exploitation avec intéressement, répartition des frais de chauffage), qui intéressent les gestionnaires, si l'on peut adapter la méthode à des bâtiments collectifs ou tertiaires.

Enfin, il est indispensable de développer et d'adapter les techniques de mesures et d'analyse sur site notamment pour les mesures des consommations des appareils domestiques et de l'éclairage. On se heurte encore au problème de la mesure du taux de renouvellement d'air et des infiltrations pour sa prise en compte dans les données d'occupation.

Le transfert de la procédure développée du domaine de la recherche au domaine professionnel, nous paraît à ce jour en bonne voie. Il nécessitera peut-être l'automatisation complète des mesures et de l'acquisition et le traitement des données. Une utilisation préalable de la procédure, au niveau des professionnels, devrait alors nous aider à aller plus loin dans son développement.

Nous ne voudrions pas clore ce document sans revenir sur le contexte libanais. En effet, bien que des efforts restent à faire, notamment quant à l'adaptation et l'application de la procédure au Liban, EC-Pro donne toutefois au pays une réponse rapide à mettre en œuvre pour anticiper une évolution énergétique. A ce titre, il serait intéressant de poursuivre la réflexion prospective en élargissant la configuration initiale du système certification et en procédant à une analyse stratégique du jeu des acteurs, ce qui permettra de définir les chemins qu'il est nécessaire de prendre pour arriver à l'application de la certification au Liban.

Savoir concevoir et réussir l'application d'une telle procédure de certification énergétique des bâtiments, en pré-évaluer le potentiel, les voies et les contraintes, voilà une clef pour assurer la viabilité économique et socio-politique des réformes du secteur énergétique au Liban.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME-DBC, *L'affichage des consommations d'énergie des bâtiments,* note de synthèse et de positionnement, mars 1997, Rapport, 22 p

Ademe, CSTB et DRAST, *Analyse des jeux d'acteurs du secteur du bâtiment,* Sophia Antipolis Valbonne: Ademe - CSTB- DRAST, 1994, Rapport .

Ademe et CSTB, *Bâtiment 2030: quels bâtiments pour l'avenir?,* Sophia Antipolis, 1992,79 p

Adra N., Cantin R., Richalet V., Guarracino G., Mourtatda A., Michel P., Vers l'application d'une certification énergétique dans les bâtiments au Liban, *COMPLES 2000, Energie et environnement*, Beyrouth, Liban, novembre 2000.

Adra N., Guarracino G., Mourtada A., Richalet V., Développement d'une méthode de prédiction et d'analyse des consommations de l'habitat existant au Liban, *Conférence syrio-libanaise de l'Ingénierie*, Damas, Syrie, octobre 1999.

Adra N., Richalet V., Guarracino G., Etude de sensibilité des gains internes dans le secteur résidentiel, *Congrès français de thermique SFT2000*, Lyon, France, mai 2000, Paris: Elsevier, p:899-904, ISBN 2842992008

Agence danoise de l'énergie, *Energy rating for small properties, Extract of the Danish Energy Consultant's handbook,* Copenhague, Danemark, 1999, Rapport, 77 p

Alereza T., Breen J. P., Estimates of recommended heat gains due to commercial appliances and equipment, ASHRAE Transactions, 1984, Vol.90

ASHRAE Fundamentals, Air-conditioning cooling load, New York: Ashrae, 1981.

ASHRAE Fundamentals, Air-conditioning cooling load, New York: Ashrae, 1985.

ASHRAE Fundamentals, Non residential cooling and heating load calculations, 1997.

Aude P. *Contribution à l'amélioration des protocoles de validation des modèles numériques de simulation du comportement thermo-aéraulique des bâtiments,* Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1997, 276p.

Barakat S.A., Sander D.M., A method for estimating the utilization of solar gain through windows, *AHRAE Transactions,* 1983, Vol.89, p:12-22.

Barakat S.A., Sander D.M., The utilization of internal heat gains, *ASHRAE Transactions,*1986, Vol.92, p: 103-115.

Beydoun M., Ouaida B., *Evaluation thermique de l'habitat au Liban.* Beyrouth, Centre de recherche sur l'énergie solaire, Beyrouth, Liban, 1986, 2 p

Bezian J.J., *Transferts de chaleur et lampe basse consommation,* Ecole des mines de Paris, Centre d'énergétique, Sophia Antipolis, 1998, Rapport .

Bisson E., Building certification, *The building energy certification: state of progress and perspectives*, Sophia Antipolis, France, 1994.

Bruant M., *Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance,* Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, France, 1997, 303 p.

Building energy software tools directory, March 2000, Available from internet <URL: www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory/software>

Building energy measuement and performance analysis, Mai 2000, Available from internet , < URL: www.eande.lbl.gov/EAP/BEA>

Bulletin de l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et pour l'Environnement ALMEE, *L'énergie au Liban : le défi,* Beyrouth, Liban, novembre 1996, 47 p.

Bulletin de l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et pour l'Environnement ALMEE, *Liban précieux:planète précieuse,* Beyrouth, Liban, juin 1997, 40 p

Bulletin de l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et pour l'Environnement ALMEE, *State of the energy in Lebanon,* Beyrouth, Liban, avril 1998, 44 p

Bulletin de l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et pour l'Environnement ALMEE, *Base de données énergétiques pour le Liban,* Beyrouth, Liban, 1999, 9 p

Bulletin de l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et pour l'Environnement ALMEE, *Le solaire au Liban, mieux en apprendre les enjeux pour mieux agir,* Beyrouth, Liban, 2000, 36 p

Bulletin de l'Association Libanaise pour la Maîtrise de l'Energie et pour l'Environnement ALMEE, *Projet d'efficacité énergétique dans la construction au Liban,* Beyrouth, Liban, mai 2000, 12 p.

Cantin R., *Impact du télétravail sur l'habitat.* Ecole nationale des travaux publics de l'état, Rapport de DEA, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Laboratoire des Sciences de l'Habitat, 1996, 71p.

Cantin R., *Développement d'une méthode prospective - Application aux systèmes de gestion technique du bâtiment,* Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, France, juillet 2000, 320 p.

Conseil du développement et de la Reconstruction : environnement, avril 2000, Available from internet , < URL: www.cdr.gov.lb>

CEN: Comité Européen de Normalisation, *Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage - Bâtiments résidentiels,* Bruxelles: 1998, Rapport N°PREN832.

CEN: Comité Européen de Normalisation, *Performance thermique des bâtiments - transfert de chaleur par le sol - méthodes de calcul,* 1998, Rapport N°PREN ISO 13370, 22 p

Central Administration for statistics, avril 2000, Available from internet , < URL: www.cas.gov.lb>

Chehab S., L'habitat au Liban en situation inconfortable, *Environnement,* 1998.

CISBE guide, *Internal heat gains,*The chartered institution of buildings services engineers, Londres, 1986, Rapport N°7.

Claux P., Franca J.P. et al., Méthode 5000: Régles de calcul du coefficient B: besoins énergétiques dans l'habitat, Paris: Pyc édition, 1982, 159 p

CMHC : Canada Mortgage and Housing Corporation, *Energy efficiency technology impact - Appliances,* Montreal, Canada, 1996, Rapport .

CMNEB, Introduction au code modèle national de l'énergie pour les bâtiments, 2000.

Comair F., *Etude thermo-mécanique des matériaux de construction - Application à l'habitat du Moyen-Orient,* Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon1, 1989.

Conti F., Building energy certification: state of progress and implementation problems for southern european countries, E*uropean seminar on energy labeling of buildings in southern european countries,* Seville, Espagne, septembre 1995, 21 p

Cornut B., DSM in a jungle of domestic kWh prices: a comparative survey of tariffs around the Mediterranean sea, *DSM and the reforming energy market,* Cairo, Egypte, 1997, 15 p

Cornut B., *Escaping from the social kWh tariff trap: no demand, no offer for energy efficient appliances,* ADEME, 1999, Rapport, 6 p

CSTB: Centre Scientifique et technique du bâtiment, Régles Th-C, règles de calcul du coefficient de performance thermique globale des logements, 1988.

CSTB: Centre Scientifique et technique du bâtiment, Solutions techniques pour le respect du règlement thermique en maison individuelle, 1988.

CSTB: Centre Scientifique et technique du bâtiment, Th-BV, règles de calcul du coefficient de besoins de chauffage des logements, 1988.

CSW Corporation, Residential Energy Systems, 1999.

Debeusscher P., La certification des bâtiments, *The building energy certification: state of progress and perspectives,* Sophia Antipolis, France, juin 1994.

Dehausse R., Energie des bâtiments des secteurs résidentiel et tertiaire, Vol.1: Situations et Besoins, Paris: Pyc édition, 1988, 275 p

Dehausse R., Energie des bâtiments des secteurs résidentiel et tertiaire, Vol.2: Energétique des bâtiments, Paris: Pyc édition, 1988

Department of energy, *Quantified occupant-use factors affecting energy consumption in residences,* Washington: NTIS, 1979, Rapport .

Despretz H., Conti F., Different approaches to the building energy certification in EU member countries, *The building energy certification: the state of progress and perspectives,* Sophia Antipolis, France, 1994.

Douglas C., Montgomery, Design and analysis of experiments, 4th éd., New York: John Wiley, 1997, 704 p

El Baba W., L'énergie solaire au Liban, Séminaire: *Amélioration de la construction*, Beyrouth, Liban, avril, 1993, p: 36

EnergGuide, Mars 2000, Available from internet , < URL: www.energuie.nrcan.gc.ca>

EnergyGauge, Mars 2000, Available from internet , <URL: www.fsec.ucf.edu/ ratings/software>

Energy Star homes, Avril 2000, Available from internet , < URL: www. energystarhomes.com>

Enrech-Xena C., *Simulation de la lumière naturelle par des sources artificielles: enjeux architecturaux,* Thèse de doctorat, Université de Nantes - Isitem, 1999, 281 p

ESP, *A program for a building energy simulation,* Energy simulation research, ESP-R, 1993, Rapport N°U93/1.

E-Star, Avril 2000, Available from internet , < URL: www.e-star-com>

Fels M.F., Rachlin J., Socolow R.H., Seasonality of non-heating consumption and its effect on PRISM results, *Energy and buildings,* 1986, Vol. 9

FirstRate house energy rating software, March 2000, Available from internet <URL: www.energyvic.vic.gov.au>

Furbringer J.M., *Sensibilité de modèles et de mesures en aéraulique du bâtiment à l'aide de plans d'expériences,* Thèse de doctorat, Ecole polytechnique supérieure fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse, 1994, 183 p.

Ghaddar N., Bsat A. Energy conservation of residential buildings in Beirut, *International journal of energy research,*1998, Vol.22, p: 523-546.

Godet M., De l'anticipation à l'action, manuel de prospective et de stratégie, Paris : Dunod, 1991, 390 p.

Godet M., De la rigueur pour une indiscipline intellectuelle, *Assises de la prospective*, Paris: Futuribles international, 1999.

Groes U., Computer based tool for the analysis of building energy consumption, *The building energy certification: state of progress and perspectives*, Sophia Antipolis, France, 1994.

Groupe HBA - Efficacité énergétique, Mai 2000, Available from internet , < URL: www.hba.qc.ca/f_effica>

Goupy J., La méthode des plans d'expériences: optimisation du choix des essais et de l'interprétation des résultats, Paris : Dunod.

Guarracino G., *Physique du bâtiment: climat intérieur.* Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, 1997, Cours

Hatem F., La prospective: pratiques et méthodes, Paris: Economica, 1993, 385 p

HELP, SAVE, *Single family houses in Europe: A contribution tool towards energy labelling,* Commission des Communautées Européennes, direction générale de l'énergie, 1997, Rapport

Hendersen G., *Heat energy rating , energy rating benchmark,* BELAS Mechanims for energy labelling of existig buildings, 2000, Rapport .

Henderson G., *Standard assessment procedure, National Home energy rating.* BELAS Mechanisms for energy labelling of existing buildings, 2000, Country report: United kingdom.

Hosni M., Bryon J., Sipes J. Xu Y., Total heat gain and the split between radiant and convective heat gain from office and laboratory equipment in buildings, *ASHRAE Fundamentals*, 1998, Vol.104 n Pt 1A, p: 356-365.

Institut technique du bâtiment, *Mode d'emploi LESOSAI 4 - Calcul du bilan thermique d'une construction LESO - CEN PREN832 - SIA 380/1 et SIA 180/1.*, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse, 1996, Rapport, 39 p

International energy agency, March 2000, Available from internet <URL: www.iea.org>

Jabre S., *Evolution de l'architecture domestique au Liban,* Ecole d'architecture de Toulouse, 1995, Rapport de stage, p:100-107 .

Jouvenel H. de., Sur la démarche prospective, *Futuribles*, Paris, 1993, Vol.9, p:51-69.

Jouvenel H. de., Tendances et défis à l'horizon 2010 en Europe de l'ouest, *Séminaire d'introduction à la démarche prospective*. Paris: Futuribles international, 1993.

Klein S.A., TRNSYS: A transient system simulation program, Madison: solar energy laboratory, University of Wisconsin, 1990, Rapport N° 38-13.

Kreider J.F., Rabl A., Heating and cooling of buildings, Design for efficiency, New York: McGrawl-hill, 1994, 890 p, ISBN 0071134387

L'audit énergétique dans les bâtiments existants, Séminaire international, Sophia Antipolis, France, juin 1988

Lebanese National Council for Scientific Research, avril 2000, Available from internet , < URL: www.cnrs.edu.lb>

Législation sur l'énergie, Mai 2000, Available from internet , < URL: www. nota.multimedia.fr/eplanete/energie>

Lepers S., *Modélisation des écoulements de l'air dans les bâtiments à l'aide des codes CFD, contribution à l'élaboration d'un protocole de validation,* Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, France, 2000, 244 p.

Le programme Nouveau confort, Mai 2000, Available from internet <URL: www.apchq.com/1Industrie/Nouveauconfort>

Libnor, Normalisation Libanaise, *Guide de réglementation thermique et du confort d'été des bâtiments au Liban,* Institut de normes libanaises, Libnor, avril 1999, Document interne.

Lomas K.J., Eppel H., Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs, *Energy and buildings,*1992, Vol.19, p: 21-44.

Loncour X., Wouters P., Vekemans G., *Energie pestatie advies,* BELAS Mechanisms for energy labelling of existing buildings, 2000, Rapport .

Marco J., Téliez F., Occupation's influence in the thermal performance of a detached house, HELP project, Rapport, Madrid, Espagne, 12 p

Marret D., *Qualité de la ventilation mécanique contrôlée: influence du mode de chauffage sur le confort et les pertes thermiques dans l'habitat,* Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon et l'université Claude Bernard Lyon1, 1981, 269p.

Menguy G., Deghaily W., Panorama de l'énergie au Liban, Séminaire: *Amélioration de la construction*, Beyrouth, Liban, avril 1993, p: 34

Michel P., Guarracino G., Concepts de base de la démarche prospective appliquée au bâtiment, *EUROPIA'95*, Lyon, France, 1995, p:23-28.

Moreau A. et Al., Assessment of the impact of internal heat gains on the thermal loads in the residential sector, *Canadian Electrical association,*1994, 19 p.

Mourtada A., *Zones climatiques au Liban, Projet d'efficacité énergétique,* ADEME, ALMEE, 2000, Rapport .

Norme européenne, *Thermal performance of building - calculation of energy use for heating - residential buildings,* Comité européen de normalisation, 1993, Rapport .

Ouaida B, Sfeir A., L'énergie solaire au Liban: état actuel et perspectives, *Systèmes solaires*, juin 1986, N°14, p:12-13

Ouaida B., Zaouk A., Situation énergétique au Liban et perspectives d'applications de l'énergie solaire, *XXIII Congresso Comples: la energia solar en la cooperacion notre-sur*, Séville, Espagne, avril 1985, p: 653-656

Poulsen Henrik, *Heat energy rating, Energy rating benchmark,* BELAS Mechanisms for energy labelling of existing buildings, 2000, Rapport .

Recknagel, Sprenger, Hönmann, Le Recknagel - Manuel pratique du génie climatique, Paris: Pyc édition, 1986, 1650 p

Recknagel, Sprenger, Hönmann, Le Recknagel - Manuel pratique du génie climatique, Paris: Pyc édition, 1995, Vol.1 p: 63-69

Recknagel, Sprenger, Hönmann, Le Recknagel - Manuel pratique du génie climatique, Paris: Pyc édition, 1995, Vol.2 p: 934-940

Richalet V., *Caractérisation des bâtiments sur site: identification des modèles dynamiques, méthodes de signature énergétique,* Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, 1991, 300 p

Richalet V. et Adra N., Neirac F., Zarzalejo L., Groes U., Despretz H., Energy checking procedure for single family houses, *Sustainable building*, Maastricht, octobre 2000.

SAVE, *Habitat individuel en Europe: Contrôle multi-points d'efficacité énergétique* janvier 1997, Rapport SAVE N° SA/83/94/F

SAVE, *Single family houses in Europe: multi-points energy efficiency checking,* 2000, Rapport final Contrat N°XVII/4.1031/Z/97-172

SAVE, Maîtrise de la demande électrique, Campagne de mesures par usage dans le secteur résidentiel, Rapport final SAVE N° 4.1031/93.58, 5 p

Sidler O., *Synthèse des campagnes de mesures sur les usages électriques spécifiques du secteur résidentiel.* Ademe, Commission des communautés européennes, 1997, Rapport, Programme SAVE contrats N°4.1031/93.58 et 4.1031/S/94-093.

Sidler O., *Etude expérimentale des appareils électroménagers à haute efficacité énergétique placés en situation réelle, projet EODROME.* ADEME, Commission des communautés européennes, 1998, Rapport Programme SAVE, contrat N° 4.1031/S/94-093.

Takahashi A. Arakawa H., *Climates of Southern and Western Asia,*In:World survey of climatology, New York:Elsevier Scientific Publishing, 1981, vol.9, 33 p

Tantot M., *Contribution à l'élaboration de la gestion des gains directs dans un bâtiment,* Ecole nationale supérieue des mines de Paris, Paris, 1990.

Techniques de l'ingénieur, Génie énergétique, Paris: Techniques de l'ingénieur, 1998, Vol.B2I.

Trines R., Home energy certification in the Netherlands, *The building energy certification : state of progress and perspectives,* Sophia Antipolis, France, juin 1994.

ANNEXES

ANNEXE I.a.

Données climatiques du Liban utilisées dans EC-Pro

Zone temperee	Tmoyenne (°C)	Ensoleillement Horiz (MJ/m²)	Sud	Est	Ouest	Nord
Janvier	13.8	245.5	390.38	149.77	174.32	85.93
Février	14.2	312.5	409.35	181.24	206.24	90.62
Mars	15.9	457.6	430.11	260.81	260.81	118.97
Avril	18.9	572.4	400.68	309.10	314.82	137.38
Mai	22.3	714.2	378.55	378.55	371.40	199.99
Juin	25.7	756.0	355.32	393.12	378.00	211.68
Juillet	27.7	758.9	371.85	387.03	387.03	197.31
Août	28.4	703.1	449.97	379.66	379.66	154.68
Septembre	26.9	561.6	505.44	308.88	331.34	129.17
octobre	23.8	435.2	522.29	243.73	265.50	117.51
Novembre	19.7	291.6	466.56	172.04	195.37	90.40
Décembre	15.7	234.4	438.30	152.33	175.77	86.71

Zone moyenne	Tmoyenne (°C)	Ensoleillement Horiz. (MJ/m²)	Sud	Est	Ouest	Nord
Janvier	8.4	267.84	425.87	163.38	190.17	93.74
Février	9	312.48	409.35	181.24	206.24	90.62
Mars	11.4	457.56	430.11	260.81	260.81	118.97
Avril	14.7	572.40	400.68	309.10	314.82	137.38
Mai	18.5	725.40	384.46	384.46	377.21	203.11
Juin	21.2	831.60	390.85	432.43	415.80	232.85
Juillet	22.5	837.00	410.13	426.87	426.87	217.62
Août	23.3	758.88	485.68	409.80	409.80	166.95
Septembre	21.8	615.60	554.04	338.58	363.20	141.59
octobre	20	479.88	575.86	268.73	292.73	129.57
Novembre	15.6	313.20	501.12	184.79	209.84	97.09
Décembre	10.6	245.52	459.10	159.59	184.14	90.84

Zone froide	Tmoyenne (°C)	Ensoleillement Horiz. (MJ/m²)	Sud	Est	Ouest	Nord
Janvier	1.9	256.68	408.12	156.57	182.24	89.84
Février	3.2	292.32	382.94	169.55	192.93	84.77
Mars	5.4	468.72	440.60	267.17	267.17	121.87
Avril	9.1	615.60	430.92	332.42	338.58	147.74
Mai	12.8	781.20	414.04	414.04	406.22	218.74
Juin	17.3	950.40	446.69	494.21	475.20	266.11
Juillet	18.7	959.76	470.28	489.48	489.48	249.54
Août	19.4	881.64	564.25	476.09	476.09	193.96
Septembre	17.5	712.80	641.52	392.04	420.55	163.94
octobre	13.9	479.88	575.86	268.73	292.73	129.57
Novembre	10.1	367.20	587.52	216.65	246.02	113.83
Décembre	4.8	267.84	500.90	174.10	200.88	99.10

Zone interieure	Tmoyenne (°C)	Ensoleillement Horiz. (MJ/m²)	Sud	Est	Ouest	Nord
Janvier	6.3	267.84	425.87	163.38	190.17	93.74
Février	7.1	342.72	448.96	198.78	226.20	99.39
Mars	10	524.52	493.05	298.98	298.98	136.38
Avril	14	648.00	453.60	349.92	356.40	155.52
Mai	18	837.00	443.61	443.61	435.24	234.36
Juin	21.2	907.20	426.38	471.74	453.60	254.02
Juillet	23.3	926.28	453.88	472.40	472.40	240.83
Août	23.6	848.16	542.82	458.01	458.01	186.60
Septembre	21.5	680.40	612.36	374.22	401.44	156.49
octobre	17.9	513.36	616.03	287.48	313.15	138.61
Novembre	12.9	345.60	552.96	203.90	231.55	107.14
Décembre	8.2	267.84	500.90	174.10	200.88	99.10

Beyrouth	Tmoyenne (°C)	Ensoleillement Horiz. (MJ/m²)	Sud	Est	Ouest	Nord
Janvier	17.1	226.10	359.50	137.92	160.53	79.14
Février	15.5	278.60	364.97	161.59	183.88	80.79
Mars	16.5	431.90	405.99	246.18	246.18	112.29
Avril	21.3	546.40	382.48	295.06	300.52	131.14
Mai	23.6	667.20	353.62	353.62	346.94	186.82
Juin	26.4	673.30	316.45	350.12	336.65	188.52
Juillet	28.3	688.50	337.37	351.14	351.14	179.01
Août	29.2	681.80	436.35	368.17	368.17	150.00
Septembre	28.9	512.50	461.25	281.88	302.38	117.88
octobre	27.1	400.70	480.84	224.39	244.43	108.19
Novembre	19.7	238.60	381.76	140.77	159.86	73.97
Décembre	15.6	204.70	382.80	133.06	153.53	75.74

ANNEXE II.a

Résultats de l’enquête sur les permis de construire

Département	CALCUL (statistique)	Nombre de cloisons	Nbre d'étages (rdc+)	Nombre d'appartements/étag ecourant	Surface habitée sans balcons (1 appart.) [m²]	Surface des balcons (1 appart.) [m²]	Nombre de balcons (1 appart.)	Surface vitrée (façade nord) [m²]	Surface vitrée (façade sud) [m²]	Surface vitrée (façade est) [m²]	Surface vitrée (façade ouest) [m²]	Total des moyennes de la surface vitrée [m²]
Békaa	Total	345	88	40	6411	1620	116	278.1	247.4	267.55	270.85	29.54
	Moyenne	9.5	2.44	1.11	178.03	45	3.22	7.72	6.87	7.43	7.52	
Nb de permis:36	Ecart-type	2.81	1.02	0.31	53.16	24.48	1.33	4.91	4.6	5.57	4.5	
Liban Nord	Total	681.5	422	144	16090	3228	315	528	410	366	408	18.18
	Moyenne	7.25	4.48	1.5	171.2	34.33	3.35	5.6	4.36	3.88	4.34	
Nb de permis:94	Ecart-type	1.89	3.09	0.9	49	15.55	1.08	3.09	2.86	2.76	3.28	
Liban Sud	Total	522	129	83	9087	2147	184	336.2	374	407	477	27.66
	Moyenne	9.15	2.26	1.45	159.4	37.66	3.22	5.9	6.51	7.14	8.11	
Nb de permis:57	Ecart-type	3.52	1.87	0.82	51.17	17.22	1.13	4.45	4.63	4.5	5.33	
Beyrouth	Total	174.8	213.13	46	2823	504.39	61.18	201.2	132	52.9	70.5	19.86
	Moyenne	7.6	9.267	2	123	21.93	2.66	8.75	5.74	2.3	3.07	
Nb de permis:23	Ecart-type	1.63	2.31	0.46	58.75	13.17	0.97	7.2	4.3	4.25	6.28	
Mont-Liban	Total	1009.2	479	169	22382	4500	440	859.4	830.9	782.2	812	23.78
	Moyenne	7.31	3.47	1.22	162.18	32.6	3.18	6.22	6.02	5.66	5.88	
Nb de permis:138	Ecart-type	1.16	2.12	0.41	50.36	14.14	1.09	4.62	4.9	4.39	4.83	

ANNEXE II.b.

Questionnaire sur la consommation énergétique dans l’habitat

ENQUETE SUR L'ENERGIE

Date: ……………………………………………………………………………………………
Nom :……………………………………………………………………………………………
Sexe :……………………………………………………………………………………………
Age : ……………………………………………………………………………………………
Activité professionnelle:……………………………………………………………………………

DANS VOTRE LOGEMENT

1) Votre logement : Localité: ……………………………………………………………………………
Type d'habitation : ☐ maison ☐ appartement
Numéro d'étage: …….
Surface approximative………………
Nombre de pièces:……….
Nombre d'habitants: ………………
Nombre de salles-de-bain: ……………..

2) Quel est votre avis sur le confort thermique à l'intérieur de votre logement?

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable	Intolérable
En été, le matin					
En été, le soir					
En hiver, le matin					
En hiver, le soir					

3) En été, quand les conditions thermiques ne sont pas confortables, que faites-vous pour les améliorer?

☐ Vous créez un courant d'air en ouvrant portes et fenêtres.
☐ Vous baissez les stores ou vous tirez les rideaux.
☐ Vous allumez un ventilateur: ☐ la nuit ☐ le jour
☐ Vous éteignez les lampes qui chauffent trop (par exemple: lampe halogène)
☐ Vous sortez sur le balcon ou dans votre jardin.
☐ Vous allumez la climatisation (air conditionné)
☐ Dès que vous rentrez chez vous, vous mettez des habits plus décontractés
☐ Vous partez habiter dans votre chalet ☐ à la montagne ☐ à la mer
☐ Autre : ……………………………………………………………………………………
……………………………………………………………………………………………

4) En hiver, quand les conditions thermiques ne sont pas confortables, que faites-vous pour les améliorer?

☐ Vous allumez le chauffage:
☐ dans toutes les pièces ☐ dans certaines pièces seulement
☐ Parfois, vous vous habillez chaudement pour éviter d'allumer le chauffage
☐ Autre : ……………………………………………………………………………………
……………………………………………………………………………………………
……………………………………………………………………………………………

5) Quelle est la pièce où vous vivez le plus en été : ……………………………………………….

Cette pièce est: ☐ plus fraîche que les autres ☐ à la même température que les autres

Si cette pièce est plus fraîche que les autres, quelles en sont les raisons ?

☐ elle est mieux orientée (à l'ombre, mieux protégée du soleil)
☐ elle a des petites fenêtres (protégée du soleil)
☐ elle est climatisée
☐ elle est dans un courant d'air
☐ autre : ………………………………………………………………………………………..

6) Quelle est la pièce où vous vivez le plus en hiver :……………………………………………….

Cette pièce est: ☐ plus chaude que les autres ☐ à la même température que les autres

Si cette pièce est plus chaude que les autres, quelles en sont les raisons ?

☐ elle est mieux orientée (au soleil / plein sud)
☐ elle a des petites fenêtres (peu de pertes thermiques)
☐ elle est mieux chauffée
☐ elle a peu de murs communs avec l'exterieur (pièce au centre)
☐ autre : ………………………………………………………………………………………..

7) Quel est le (ou les) facteur(s) le(s) plus défavorable(s) pour votre confort? (classez si plusieurs réponses)

		ETE	HIVER
BRUITS			
POLLUTION DE L'AIR	POUSSIERES		
	ODEURS		
TEMPERATURE			
HUMIDITE			
COURANTS D'AIR			
ECLAIRAGE			
AUTRES			

CONSOMMATION

8) Description du système de climatisation :

- Avez-vous un système de climatisation ? ☐ oui ☐ non
- Si oui, combien de pièces sont climatisées……………………………………………………………….
  Lesquelles : ☐ chambres ☐ cuisine ☐ salon ou salle de séjour ☐ toutes
- Nombre de climatiseurs: ……………………………………………………………….
- Puissance des climatiseurs :……………………………………………………………… ☐ ne sait pas
- Mois pendant lesquels vous utilisez la climatisation :
  ☐ mars ☐ avril ☐ mai ☐ juin ☐ juillet ☐ aout ☐ septembre ☐ octobre ☐ novembre
- Vous utilisez votre climatisation combien de jours par semaine …………………………………
- Vous utilisez votre climatisation : ☐ le jour en continu ☐ le jour par intermittences
  ☐ chaque nuit ☐ la nuit parfois
- Trouvez-vous que votre système de climatisation est suffisant ? ☐ oui ☐ non

9) Description du système de chauffage

- Avez-vous un système de chauffage? ☐ oui ☐ non
- Si oui, quelle est l'énergie utilisée (mazout, électricité, …) :……………………………………….
- Combien de pièces sont chauffées ? ………………………………………………………………..
  Lesquelles : ☐ chambres ☐ cuisine ☐ salon ou salle de séjour ☐ toutes
- Puissance de votre chaudière: ……………………………………………………… ☐ ne sait pas
- Mois pendant lesquels vous utilisez le chauffage :
  ☐octobre ☐ novembre ☐ décembre ☐ janvier ☐ février ☐ mars ☐ avril ☐mai
- Vous utilisez votre chauffage combien de jours par semaine :…………………………………….
- Vous utilisez votre chauffage : ☐ le jour en continu ☐ le jour par intermittences ☐ chaque nuit ☐ la nuit parfois
- Trouvez-vous que votre système de chauffage est suffisant ? ☐ oui ☐ non

10) Description du ballon d'eau chaude

- Avez-vous l'eau chaude? ☐ oui ☐ non
- Si oui, quelle est l'énergie utilisée (mazout, électricité, …) :……………………………………….
- Combien possédez-vous de ballon d'eau chaude? …………………………………………………..
- Les utilisez-vous de la même façon? ☐ oui
  ☐ non,
  précisez:……………………………………………………………………………………………
  ……………………………………………………………………………………………………
  ……………………………………………………………………………………………………
- Quelle est la capacité de votre ballon d'eau chaude ?……………………………………………..
- Température de consigne :……………………………………………………………………………
- Vous utilisez votre chauffe-eau combien de jours par semaine :…………………………………..
- L'été, votre chauffe-eau est allumé:
  ☐ en permanence (jour + nuit)
  ☐ aux heures suivantes :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

- L'hiver, votre chauffe-eau est allumé:
  ☐ en permanence (jour + nuit)
  ☐ aux heures suivantes :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

11) Quel est le montant de votre facture énergétique (approximativement) :……………………….
électricité (EDL):……………………………………………………………………………….
électricité (groupe électrogène):……………………………………………………………………….
gaz :………………………………………………………………………………………………….
mazout /fuel :……………………………………………………………………………………….
autre énergie :……………………………………………………………………………………….

12) La facture vous paraît-elle :

☐ très lourde ☐lourde ☐acceptable ☐faible ☐très faible

PREDICTION

13) Si on vous propose une étude des consommations énergétiques de votre logement, puis si on vous donne différentes solutions pour diminuer votre facture énergétique, êtes-vous prêt à payer pour ce service :

□ oui

□ non Si non, pourquoi :……………………………………………………………………………….

……………………………………………………………………………………………………

Concrètement, cette étude permet de savoir comment économiser de l'énergie. Elle conseille différents travaux à réaliser ou indique différents matériels à acheter et pour chacun de ces investissements donne le montant de la nouvelle facture. Ainsi si on paye actuellement une facture énergétique de 1.000.000 L.L. par an, en suivant les conseils de l'étude, on ne payera plus que 600.000 L.L.

Combien êtes-vous prêt à payer en une fois pour connaitre les résultats d'une telle étude:……………..

Remarques: ………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

14) Etes-vous prêt à investir dans des mesures d'économie de l'énergie (c'est à dire appliquer les solutions données par l'étude) :

exemples d'investissements : minuterie pour le chauffe-eau, horloge programmable, lampes basse consommation, double vitrage, équipement de climatisation plus efficace, etc.

□ oui

□ non

Jusqu'à combien êtes-vous prêt à investir (sachant que sur une facture actuelle de 1.000.000 L.L par an, vous ne payerez plus que 600.000.L.L):…………………………………………………

Remarques: ………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

15) Par quoi êtes-vous le plus intéressé :

□ faire baisser votre facture énergétique en conservant le même confort thermique

□ améliorer le confort thermique en gardant la même facture énergétique.

16) A quels problèmes de l'environnement êtes-vous sensible?

□ aucun

□ effet de serre, c'est-à-dire le réchauffement de la planète lié à une consommation excessive de l'énergie (voiture, centrales thermiques, et dans une faible mesure le logement…)

□ pollution de l'air

□ problémes des ordures ménagères

□ pollution de l'eau   □ eau de mer   □ eau potable

□ protection de la nature (biodiversité)

□ autres:………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

	localite	sexe	age	categorie professionnelle	type d'habitation	numero d'etage	nombre total d'etage	surface [m2]	nbre de piece	nbre d' hab	nbre de SdB	confort ete matin	confort ete soir	confort hiver matin	confort hiver soir	courant d'air	ombre	ventilateurs le jour	ventilateurs la nuit	eteindre lampes	dehors	climatisation	chgts d'habits	chalet montagne	chalet mer	prend des bains froids	promenade	chauffage dans certaines pieces	chauffage ds ttes les pieces	habits chauds	installe tapis	prends des bains chauds
1	Zouk	F	52	comm	a	3	6	160	5	6	1	0	2	3	3	1						1							1			
2	Tripoli	M	50	employe	a	6	8	225	7	4	2	0	0	0	0							1	1	1						1		
3	Anthelias	F	40	employe	a	5	5	270	6	5	4	0	1	1	1	1			1			1		1				1				
4	Bey	M	26	cadre	a	5		170	5	1	3	1	2	1	1	1					1	1	1	1	1				1	1		
5	Batroun	F	19	etudiant	m	1			6	5	2	0	4	0	0	1	1	1	1		1		1	1				1		1		
6	Bey	F	28	enseignant	a	0			3	3	2	0	0	1	1							1	1					1		1		
7	Bey	F	21	ss travail	a	1		120	5	3	2	0	0	1	0							1	1					1				
8	Bey	M	17	etudiant	a	2	3	65	3	4	1	0	2	0	3	1				1			1					1				
9	Hazmie	M	49	prof. Lib.	a	0	5	155	4	4	2	1	2	1	1				1			1	1						1			
10	Bey	F	25	enseignant	a	1	4	150	6	10	2	0	1	0	2	1			1				1					1		1		
11	Bey	M	46	employe	a	6	9	120	4	4	2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1		1				1	1				
12	Bey	M	47	cadre	a	2	7	190	6	3	2	2	0	0	0							1	1					1		1		
13	Jounieh	M	50	comm	a	1	5	200	5	3	4	0	0	0	0							1						1				
14	Maarakeh	M	20	etudiant	m	1	1	150	4	8	2	0	0	1	1	1	1	1	1				1					1		1		
15	Zgartha	F	37	employe	m	1	1	400	4	3	2	1	1	1	1	1							1					1		1		
16	Bey	F	21	etudiant	a	2		400	9	4	5	0	0	0	0						1	1	1						1	1		
17	Jdeideh	M	60	retraite	a	3	6	120	4	3	2	0	2	0	0	1		1	1		1				1			1				
18	Bey	M	31	prof. Lib.	a	4		380	8	6	3	1	0	2	2	1			1			1	1	1				1				
19	Bey	F	22	employe	a	3	5	160	5	5	3	0	1	2	1	1			1		1		1		1			1				
20	Bey	F	24	etudiant	a	2	3	200	3	4	1	0	2	0	0	1	1	1	1		1		1	1				1				
21	Bey	M	23	employe	a	4	6	80	3	6	1	2	2	0	0	1		1	1				1						1		1	
22	Zouk	M	18	etudiant	a	3	5		4	3	2	0	1	0	0	1		1				1						1				
23	Tripoli	F	52	enseignant	a	3	3	160	7	4	1	0	2	0	2	1	1				1	1	1		1			1				
24	Tripoli	F	61	au foyer	a	3	4	150	6	2	1	0	1	1	0	1		1	1	1	1		1					1		1		
25	Tripoli	F	51	enseignant	m	1		380	5	4	1	0	2	0	0	1	1	1			1		1	1			1	1				
26	Zouk	F	36	au foyer	a	4	5		6	5	2	1	2	0	0	1					1	1						1				
27	Tripoli	M	23	etudiant	m	3	4	120	5	4	2	0	0	0	0	1	1	1					1	1	1			1		1		
28	Zghorta	F	19	etudiant	a	3	7		6	8	2	2	0	0	0							1	1		1			1				
29	Zghorta	F	19	etudiant	m	2	2	125	5	5	1	0	2	1	0	1	1						1					1		1		
30	Karm Sade	M	20	etudiant	m	1	1	250	7	8	3	0	1	1	1	1	1							1				1		1		
31	Zghorta	F	17	etudiant	m	1	1	150	6	5	2	0	0	0	0	1	1	1			1		1	1				1		1		
32	Tripoli	F	23	ss travail	a	6	7	210	7	5	2	0	1	0	0	1	1	1	1				1				1	1				
33	Koura	M	23	etudiant	m	1	1		4	6	1	1	2	1	1	1		1			1		1					1				
34	Chekka	F	19	etudiant	m	1	2	300	7	5	1	2	0	0	2	1		1	1				1					1		1		
35	Kfarhawra	F	30	enseignant	m	1	1	200	6	6	2	2	2	1	1	1		1					1					1		1		
36	Tripoli	M	62	retraite	a	2	7	160	5	4	2	0	0	0	0	1		1	1				1			1		1		1		
37	Tripoli	F	50	employe	a	2	7	180	5	4	1	0	0	0	0	1	1	1			1		1					1		1		
38	Tripoli	F	35	cadre	a	9	10	200	6	8	2	1	1	0	0	1			1		1	1	1						1	1		
39	Tripoli	F	53	au foyer	m	1	1	500	10	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1				1			
40	Tripoli	F	25	au foyer	a	10	11	300	6	5	4	2	4	2	0		1	1	1	1		1	1		1				1	1		
41	Tripoli	F	30	au foyer	m	2	8	180	5	4	2	0	2	1	3	1	1	1	1		1		1		1			1		1		
42	Koura	M	20	etudiant	m	1	1	700	6	6	2	0	2	1	0			1			1		1					1				
43	Tripoli	M	65	employe	a	1	3	200	6	3	2	0	0	0	0	1	1	1	1					1				1		1		
44	Tripoli	F	40	au foyer	a	1	3	170	5	4	2	0	2	1	1	1		1	1		1		1					1		1		
45	Tripoli	M	34	comm	m	1	1	110	5	4	1	0	0	0	0							1	1					1		1		
46	Tripoli	M	51	enseignant	a	1	3	160	6	5	1	1	1	0	0	1								1				1				
47	Zghorta	M	52	comm	a	2	4	300	4	6	3	0	0	0	0									1				1				
48	Bebnine	F	26	enseignant	m	1	1	80	3	10	1	0	2	0	1	1				1	1		1					1		1		
49	Tripoli	M	55	comm	m	1	1	400	18	4	3	0	0	0	0						1	1	1	1					1	1		
50	Zghorta	F	41	employe	m	1	1	110	6	4	2	0	2	1	2	1	1	1	1	1	1		1					1		1		
51	Tripoli	M	56	rentier	a	3	5	90	3	1	2	0	2	2	2	1		1	1	1			1					1		1		
52	Bey	M	45	prof. Lib.	a	6	12	400	8	1	4	0	1	1	2	1		1		1	1	1	1	1					1			
53	Beit el Kekko	F	34	employe	a	5	5	180	6	4	2	0	1	1	0	1				1	1		1						1			
54	Tripoli	M	59	comm	a	2	6	200	6	2	1	0	0	0	0	1							1						1			
55	Tripoli	F	56	retraite	a	3	6	200	6	2	2	0	2	0	0	1		1	1				1						1	1		
56	Zouk	F	26	au foyer	a	4	6	150	5	3	2	1	1	0	0	1		1	1				1			1		1				
57	Mejlaya	F	23	employe	m	1	1	300	5	3	2	0	0	0	0	1	1	1				1	1			1		1		1		1
58	Tripoli	M	24	etudiant	a	2	5	275	8	5	3	2	2	0	0	1		1	1			1	1	1				1				
59	Fawar Meriata	M	19	employe	m	1	1	220	5	7	2	0	1	2	2	1		1	1		1		1					1				
60	Zouk	M	63	comm	m	1	1	140	5	4	1	0	0	0	0			1				1						1				
61	Tripoli	M	36	cadre	a	2		180	6	3	2	1	0	1	1						1	1						1		1		
62	Tripoli	M	49	comm	a	4		200	5	4	2	0	2	0	1	1	1	1				1	1					1		1		
63	Tripoli	F	60	enseignant	a	1	6	100	5	5	1	1	1	0	0			1				1	1					1				
64	Bey	F	36	prof. Lib.	a	7	7	140	5	2	1	3	2	1	2							1	1					1				
65	Bey	M	20	etudiant	a	10	11	120	4	2	1	1	0	0	1	1	1	1	1		1		1					1				
66	Bey	M	18	etudiant	a	3	8	200	7	6	3	0	0	2	0							1	1	1	1			1				
67	Bey	F	26	etudiant	a	8	8	80	2	1	1	0	0	0	0						1	1	1					1		1		
68	Bey	F	48	enseignant	a	5	7	150	6	1	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1		1		1			1	1			
69	Zouk	F	36	au foyer	a	3	5	150	5	4	2	1	1	0	0	1	1	1	1	1		1						1	1			
70	Tripoli	M	23	etudiant	a	4	6	150	6	6	2	1	1	0	0	1	1														1	

piece utilisee ete	plus fraiche ?	car mieux orientee (ombre)	car petites fenetres	car climatisee	car courant d'air	grande	ventilateur	piece utilisee en hiver	plus chaude?	car mieux orientee	car petites fenetres	car mieux chauffee	car piece centrale	possede des tapis	plus petite	bruits	poussieres	odeur	chaleur	humidite	courants d'air	trop de luminosite	peu de luminosite	circulation auto	bruits	poussieres	odeurs	froid	humidite	courants d'air	peu de luminosite
sa	1	1	1													1	1							1	1	1					
sj	1			1	1	1		sj	1	1									1	1								1			
ttes	0							sj	1			1						1				1						1			
ba	1				1			sa	1			1					1	1								1	1				
ja	1	1			1			sj	0										1							1					
ja	1				1			sa	1			1											1						1		
chbr	0							chbr	0							1	1	1	1						1						
chbr	1	1						sa	1	1		1				1			1								1				
								sa	1			1					1		1	1								1		1	
sj	1	1		1	1			chbr	1		1		1				1		1		1							1	1		
sa	1	1			1			sa	1	1							1		1	1										1	
sj	1			1				sj	1			1				1	1	1	1	1								1	1		
sj	1	1			1			sj								1	1	1		1						1	1				
sj	1				1			chbr	0										1							1					
ja	1				1			sj	1			1				1												1			
chbr	0							chbr	0										1									1			
sj	1	1						sj	1			1			1	1	1	1													
sa	1	1			1			chbr	1			1			1				1	1								1		1	
chbr	0							chbr	1	1		1	1							1										1	
sa	1	1			1		1	sa	0								1			1								1			
sj	0							sj	1			1					1		1									1			
sj	1			1				sj	1			1							1									1			
entr	1	1	1		1			entr	1			1	1			1	1	1		1										1	
entr	1	1	1		1			entr	1			1								1										1	
ja	1				1			chbr	0								1			1									1		
sj	1	1						sj	0								1	1												1	
sa	0							sa	0										1									1			
ba	0							sa	0							1			1											1	
sa	1				1			sa	1			1				1	1													1	
ba	1				1			sj	1			1				1	1	1	1									1		1	
sj	1				1			sj	1			1				1	1		1									1		1	
chbr	1	1			1			sj	1	1			1			1	1			1						1					1
sj	0						1	sj	0										1	1								1			
ba	1				1			sj	1			1					1		1									1			
ba	0							sj	0										1	1								1			
sj	1				1			sj	1			1				1			1						1					1	
sj	0							sj	0								1													1	
sj	0							sj	0							1	1	1		1									1		
sj	1	1		1	1			sj	0							1	1	1	1	1									1		
sj	0							sj	0								1			1								1		1	
sj	0				1			sj	0										1	1								1			
sj	0							sj	0											1										1	
sj	1	1			1			sa	1					1		1									1						
ja	1				1			sj	1			1	1		1	1	1	1	1						1				1		
sj	0							sj	0							1				1						1	1				
sj	0							sj	0								1			1								1			
								sj	1			1							1	1									1		
sj	0							sj	1	1		1					1											1			
cuis	1	1		1		1		sj	0																						
ja	1							sa	1			1					1		1	1								1		1	
chbr	0							chbr	0							1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	
sa	0							sa	0								1	1									1				
ba	0							sj	1			1			1					1								1			
sj	1	1			1			sj	0								1	1												1	
sj	1				1			sj	0							1	1		1	1								1		1	
sa	0							sa	0										1	1											
sj	1	1		1	1			cuis	1			1					1														
sj	0							sj	0										1												
ba	1				1			chbr	1			1	1							1										1	
ba	1				1			entr	0								1											1			
sj	0							sj	0																1		1				
entr	0							entr	1				1					1													
sj	0							sj	1				1			1		1		1						1					
sa	1	1		1				sj	1		1				1														1		
chbr	1	1			1			sa	1	1		1	1			1	1		1	1		1									
chbr	0							chbr	1				1			1	1								1						
sa	1			1				sa	0										1												
sj	1				1			sj	1					1		1	1			1									1		
sj	1	1						sj	0							1	1	1											1	1	
sj	0							sj	0									1	1								1		1		

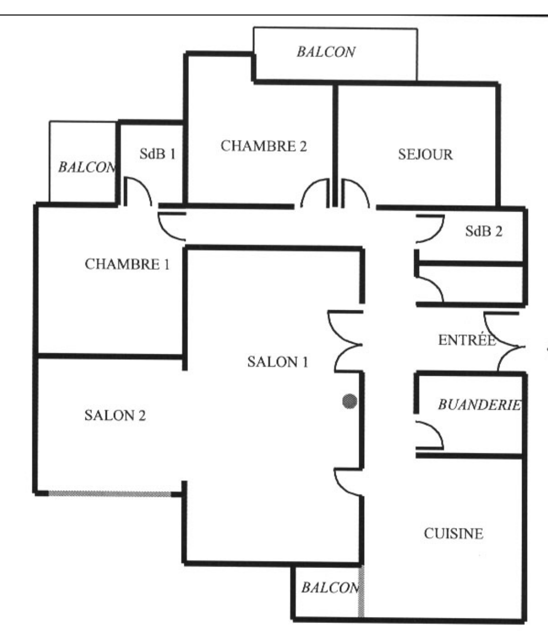
climatisation	nbre de pieces climatisees	chambres climatisees	salon climatise	toutes	nbre de climatiseurs	puissance [DTU]	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	jours par semaine	jour en continu	jour par intermittences	chaque nuit	la nuit parfois	systeme suffisant	chauffage	energie utilisee	energie supplementaire	nombre de pieces chauffes	chambres chauffees	salon et/ou sejour climatise	toutes	puissance de la chaudiere [W]	octobre	novembre	decembre	janvier	fevrier	mars	avril	mai	jours par semaine	jour en continu	jour par intermittences	chaque nuit	la nuit parfois	systeme suffisant
1	2	1	1		2	18000				1	1	1	1	1		4		1		1	1	1	ac	e	2	1	1		1500		1	1	1	1	1	1		4		1			0
1	2	1	1		2	18000					1	1	1			7		1		1	1	1	g		1		1					1	1					7		1			1
1	6			1	c	70000				1						4		1			0	1	e			1	1						1	1	1			7			1		1
1	5			1	c	60000					1	1	1			5		1		1	1	1	m	ac	5			1					1	1				7				1	1
1	3	1	1		1	12000					1	1				7		1		1	1	1	e		6								1	1				7		1		1	1
1	1		1		1	12000						1				7	1			1	1	1	ac	g	3	1	1				1	1	1	1				7		1			0
1	3	1	1		3						1	1	1			7		1	1		1	1	e		3	1	1				1	1	1	1	1			7		1	1		0
0																						1	b	g	1		1					1	1					4	1				1
1	2	1			2	12000					1	1				7		1	1		0	1	m	e	4			1				1	1	1				4		1			0
1	1	1			1					1	1	1	1			3		1		1	0	1	e		3	1	1						1	1	1			4		1		1	1
0																						1	e		1	1	1					1	1	1				4		1		1	1
1	2	1	1		2	12000				1	1	1	1			7			1		0	1	m	e	1		1						1	1	1			7		1			1
1	5			1	c						1					3		1		1	1	1	m		5			1				1	1	1				3		1			1
0																						1	m		1		1					1	1	1	1			7		1			1
0																						1	m	e	3	1	1				1	1	1	1	1			7	1				1
1				1	c					1	1	1				7		1	1		1	1	m	ac	9			1				1	1	1				7	1		1		1
0																						1	g		1		1					1	1	1				7	1				1
1	4	1	1		4						1	1				4		1			0	1	g	e	6								1	1	1			7	1		1		0
0																						1	m		4	1						1	1	1				7		1	1		1
0																						1	g	e	3	1	1					1	1	1				7		1			1
0																						1	g		2		1					1	1	1	0.5								
1	3	1			3	12000				1	1	1	1			4		1		1	1	1	m		4			1	40000		1	1	1	1	1			7	1			1	1
1	2	1			2	12000				0.5	1	1	0.5			7		1	1		1	1	e	g	4	1	1		1500			1	1	1	1			7		1		1	0
0																						1	e	g	2	1	1					1	1	1	1			7		1			0
0																						1	g	ch	2		1						1	1	0.5			7		1			1
1	2	1			1						1	1				7			1		0	1	m		6			1				1	1	1	1			7		1			1
0																						1	e	g	5	1	1						1	1	1			7		1			1
1	3	1	1		3					1	1	1				7		1	1		1	1	ac		3	1	1						1	1				7		1			1
0																						1	g	e	5	1	1						1	1				7	1				1
0																						1	b		1		1						1	1				7		1	1		0
0																						1	e		2		1						1	1				7		1	1		1
0																						1	m		7			1					1	1				3		1		1	0
0																						1	g	e	1		1				1	1	1	1				7		1	1		0
0																						1	g		3	1	1						1	1				7		1	1		0
0																						1	g		1		1					1	1	1				4		1			1
0																						1	ch	g	1		1					1	1	1	1			7	1				0
0																						0																					
1	6			1	c					1	1	1	1			7			1		1	1	m		6			1				1	1	1				7	1				1
1	10			1	c						1	1	1			5		1			1	1	m		10			1				1	1	1				7		1		1	1
1	6			1	5					1	1	1	1			7	1			1	1	1	m		6			1					1	1	1			5		1			1
0																						1	e		2	1	1						1	1				7		1			0
0																						1	m		3		1						1	1	1			4		1		1	1
0																						1	ch	g	6	1	1						1	1	1			7	1				1
0																						1	g	e	2	1	1					1	1	1	1			7		1			0
1	3	1	1		3	12000					1	1				7		1	1		1	1	g		2	1	1						1	1				5		1		1	1
0																						1	g	e	2	1	1						1	1				2		1		1	1
0																						1	m		4			1					1	1	1			7		1			1
0																						1	m		1		1						1	1				3		1	1		1
1	18			1	4	24000				1	1	1				7	1		1		1	1	e		18			1				1	1	1				7	1		1		1
0																						1	m	e	2	1	1		1000				1	1				7		1	1		1
0																						1	g		1		1											0					1
1	3	1	1		3	10000					1	1	1			3	1				1	1	m		8			1				1	1	1	1			7		1			1
0																						1	m	g	2	1	1					1	1	1	1	1		7		1		1	1
0																						1	m		6			1	70000			1	1	1				7		1			1
0																						1	m	e	6			1				1	1	1	1			5		1			1
0																						1	g	e	1		1					1	1	1				7		1			1
1	5	1	1		c						1	1	1			7		1	1		1	1	m	e	5			1			1	1	1	1	1			7		1			1
1	3	1			3					1	1	1	1			7			1		1	1	e	g	5	1	1					1	1	1	1			7		1			1
0																						1	g	e	1	1						1	1	1				7			1		0
1	2	1	1		2	24000				1	1	1				7		1	1		1	1	e		2				1000				1	1				4		1			1
0	2	1			2	9000				1	1	1	1			7		1	1		1	1	e		2	1	1					1	1	1				4			1		1
1	4	1	1		4	20000					1	1				7		1	1		1	1	ac	g	3	1							1	1				7		1	1		0
1	3	1	1		2	24000				1	1	1	1	1		7		1	1		1	1	g		1		1						1					7		1			1
1	3	1	1		2	24000				1	1	1	1			7		1	1		1	1	e	ac	2	1	1					1	1	1				7		1			1
0																						1	e		1		1					1	1	1				4		1			1
1	7			1	c					1	1	1	1			7		1	1		1	1	m	e																			1
1	1		1		1						1	1				7		1	1		1	1	m	ac	2	1	1						1	1				7		1		1	1
0																						1	m	e	6			1			1	1	1	1	1			7		1			1
0																						1	m		5			1					1	1				7		1		1	1
0																						1	m	e	4	1	1						1	1				4				1	1

eau chaude	energie	nombre de ballons	ballons utilises reguliermnt	capacite [l]	T de consigne [degres]	en ete, jours par semaine	en ete, nbre d'heure le matin	en ete, nbre d'heure l'apres-midi	en hiver, jours par semaine	en hiver, nbre d'heure le matin	en hiver, nbre d'heure l'apres midi	facture EDL par mois en L.L.	facture moteur par mois en $	facture gaz par an en L.L.	facture mazout en L.L. par an	facture charbon par an en L.L.	appreciation facture	interet pour prediction	prix de l etude en L.L.	etude et travaux inclus	mefiance sur efficacite	va bientot changer de logmt	la facture est deja faible	la facture ne reflete pas la conso	ne paie pas l'electricite	ne peut pas chiffrer	satisfait de sons sort	connait les solutions	interet pour investissement	montant des investissements	peur des travaux (surveillance)	manque d'argent actuellemt	facture ou confort	effet de serre	polluion de l'air	ordures	pollution eau de mer	pollution eau potable	nature	camions / voitures	paysage (carrieres,	industrialisation anarchique	bruits	egouts	incendies	moustiques
1	e	1	1	50	60	7	0.5	1	7	2	2	180000	40				-2	0						1					1				1	1	1	1		1	1	1						
1	e	1	1	60	80	4	0	1	4	7	1	70000		60000		50000	0	1	300000										1	650000			2		1	1										
1	e	1	1		70	7	0	2	7	0	2	200000	10				-2	0			1								0		1		2			1										
1	e	2	1	200	80	7	1	1	7	1	1	175000	25				-2	1	200000										1	800000			1		1											
1	e	1	1			7	1	1	7	1	2		20				-2	1	200000										1	400000			1		1		1	1								
1	e	1	1			7	1	1	7	1	1	100000		80000			-2	1	100000										1	400000			1		1	1	1	1								
1	e	2	2		70	7	4	4	7	4	4						-2	1	200000										1	400000			1		1	1	1									
1	e	1	1	1000		4	0	3	4	12	12			75000				1		1						1			1	2000000					1			1								
1	e	1	1	100	70	7	12	12	7	12	12	150000	30		300000		-1	1								1							2	1	1	1		1	1							
1	e	1	1		90	7	2	8	7	2	8			36000				0		1									1	100000			2		1	1		1								
1	e	1	1	100	90	7	12	12	7	12	12	45000		36000			0	0			1								0				1						1							
1	e	1	1	200	75	7	0	0	7	10	5	135000	10				-2	1	150000										1	750000			1	1	1	1	1	1	1				1			
1	e	4	1		60	7	5	2	7	12	12	175000	25		750000		0	1		1									1	300000			1	1	1	1	1	1					1			
1	e	2	1			3	1	1	3	12	12						-1	1	400000										1	200000			2			1	1									
1	e	2	2			4	1	1	4	12	12	60000	10		600000		-1	0					1						0				1		1											
1	e	5	5			7	4	4	7	4	4	500000					-2	1	200000										1	400000			1	1	1		1	1	1							
1	g	1	1		90	7	2	3	7	0	5	60000	30	500000			0	1	400000										1				1	1	1		1	1	1							
1	e	2	1			7	12	12	7	12	12	175000		120000			-2	0				1							0				2		1		1				1	1				
1	e	2	2		80	7	12	12	7	12	12	250000	25	36000			-1	1	150000										1	750000			1	1	1	1	1	1	1				1			
1	e	1	1		90	7	12	12	7	12	12			180000			-1	0		1									1	100000			1	1	1	1	1	1								
0												20000	25	42000			0	1	75000										1	120000			1	1	1			1								
1	e	1	1	50	60	4	1	0	4	1	1	75000	20		100000		-1	1	60000										1	400000			1		1			1								
1	e	1	1	100	90	7	5	0	7	2	6	75000	10	240000			-1	1	30000										1	600000			2	1	1	1	1	1	1							
0												25000	10	200000			0	1	45000										1	30000			1	1		1		1								
1	g	1	1									70000	10	750000		70kg	0	1	150000										1	350000			2		1			1								
1	e	1	1			7	7	10	7	7	10	100000	20				0	0			1								0				1		1	1	1	1								1
1	e	2	2			7	1	0	7	12	12	50000					0	0										1	1				1			1	1							1		
1	g	2	1									170000	10	120000			-1	1	40000										1	2000000			2			1	1									
1	e	1	1			5	12	12	5	6	0	50000	20	80000			-2	1	150000										0				2	1	1	1	1	1	1							
1	e	1	1			7	4	0	7	12	12	60000	10				-2	1	300000										1	400000									1							
1	e	3	1			7	3	3	7	12	12	0					2	0							1				0				2		1						1					
1	g	1	1									30000	25	240000			0	1	200000										0			1	2	1	1	1	1	1	1							
1	b	1				5	1	0	5	1	1	25000	10	120000			0	0					1						0				2				1				1				1	
1	e	1	1			5	0	1	5	12	12	190000	15	70000			0	1								1			1	2000000			2		1	1										
1	e	3	2			7	0	0	7	12	12			240000			-1	1								1			0			1	1		1	1	1	1								
1	g	1	1									15000	10	240000			1	0					1						0				2		1	1	1	1	1							
1	g	1	1									30000					0	1	50000										1	200000			2		1			1								
1	m	1	1			7	12	12	7	0	7							1	100000										1				2	1		1	1	1								
1	m	3	1			4	1	1	4	12	12	100000	10	180000	1500L		-1	0					1						0				1	1	1	1	1	1	1							
1	e	3	1	100		7	0	3	7	0	7	225000		120000	600L		-2	1	50000										1				1			1		1								
1	e	1	1		90	7	3	3	7	4	4	45000	20	240000			0	1								1							2					1								
1	e	1	1		90	1	2	2	7	2	2	50000		250000			-1	1	15000										1	150000			2			1										
1	g	1	1									25000	10	240000			0	0					1						0				1		1	1	1	1		1			1			
1	g	1	1									35000	10	300000			0	1	50000										1	250000			2	1	1	1	1	1	1							
1	e	1	1	50	65	2	1	1	7	12	12	100000	20	40000			-2	0					1					1	0				2				1									
1	g	1	1									40000	10	600000			0	1								1			1				2	1	1	1	1	1	1		1					
1	e	2	2	150	90	7	2	2	7	12	12	250000		120000	2000L		-1	0		1									1				2	1	1	1		1	1							
1	e	1	1	100	90	7	2	2	7	12	12	25000		140000	150L		0	1	25000										1	50000			2	1				1	1							
1	e	1	1	800		7	12	12	7	12	12	750000		360000			0	0									1		1	1500000			1	1												
1	g	1	1									90000			200L		-1	1								1			1	100000			2	1		1	1	1								
0												5000		120000		30000	0	0					1						0				2	1	1	1	1	1	1							
1	e	2	2	200	90	7	12	12	7	12	12	100000	50		600L		-1	1	150000										1	2250000			2	1	1	1	1	1	1							
1	e	1	1		70	7	0	7	7	12	12	100000	25	150000	2500L		-1	0					1						0				2		1	1										
1	m	1	1	300	70	2	0	1	7	12	12	35000	10	60000	500000L		0	1	25000										1	100000			1	1	1	1	1	1	1							
1	m	1	1	300	70	2	0	1	7	12	12	50000	10	12000	2000L		0	0								1			0				2	1	1		1	1								
1	e	1	1			7	2	0	7	12	12	70000	25	40000			0	1	100000										0				1		1	1	1	1	1							
1	e	3	1			4	12	12	4	3	0		10				-1	1	300000										0				1		1	1	1	1							1	
1	e	1	1			7	6	7	3	0	7	70000	10	120000			-2	0											0				2	1	1	1	1	1	1							
1	e	1	1			7	0	1	7	4	0	175000					-2	1								1			0				1			1										
1	g	1	1			7			7			100000	40	1000000			-1	1	750000										0				2		1											
1	e	1	1	80	90	7	3	3	7	12	12	60000	10	120000			-1	0										1	0				2	1	1	1	1	1	1							
1	e	2	1	100	90	7	12	12	7	12	12	75000	20	16000			-1	0										1	0				1	1	1	1	1	1	1							
1	g	1	1			7			7			25000	10	15000			0	1	15000										1	300000			1		1		1	1								1
1	e	1	1	100	90	2	1	2	7	12	12	75000		6000			1	0										1	0				2	1	1	1	1	1	1							
1	g	1	1			7			7				15					1	100000										1	400000			1	1	1	1	1	1	1							
1	m	1	1			0	0	0	7	12	12							1	100000										1	300000			1	1			1	1	1							
1	e	1	1			0	0	0	4	0.5	0	15000					0	1	5000										1	20000			1	1	1	1	1	1	1							
1	m	1	1			7	1	0	7	5	5	38000	10				1	0			1								0				2	1	1		1		1							
1	e	2	2			7	1	1	7	1	2	75000	10				1	0			1								0				1	1			1	1								
1	g	1	1			7			7			50000	15				1	1	50000										0			1					1	1								

ANNEXE II.c.

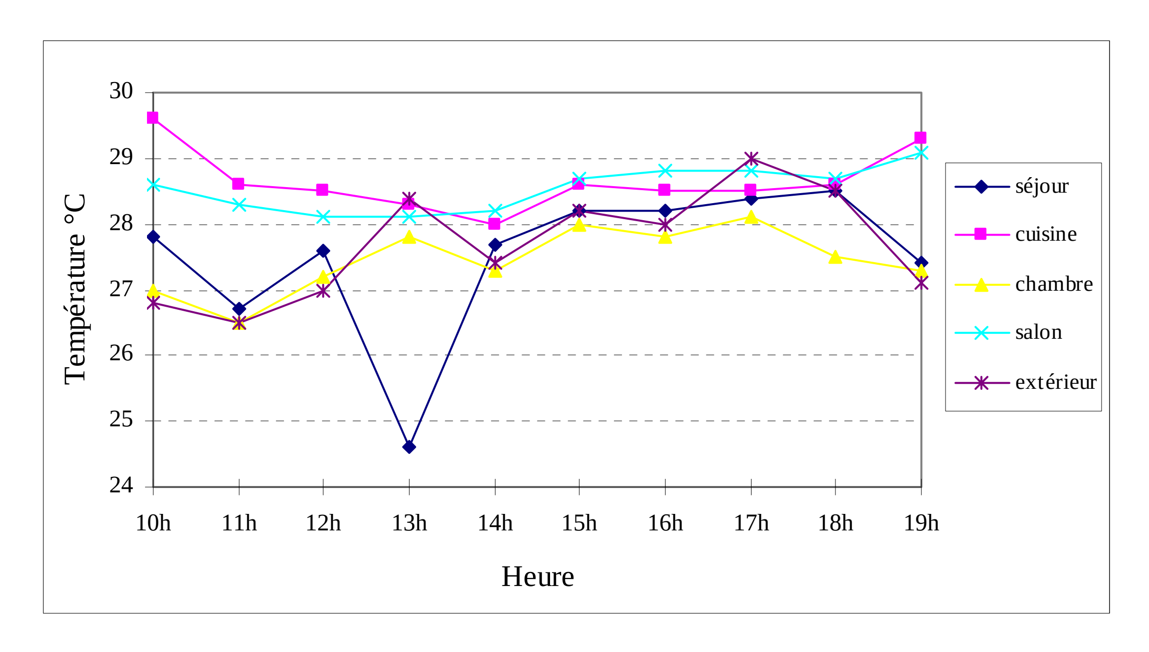
Etude de quatre appartements: Présentation des sites et principaux résultats

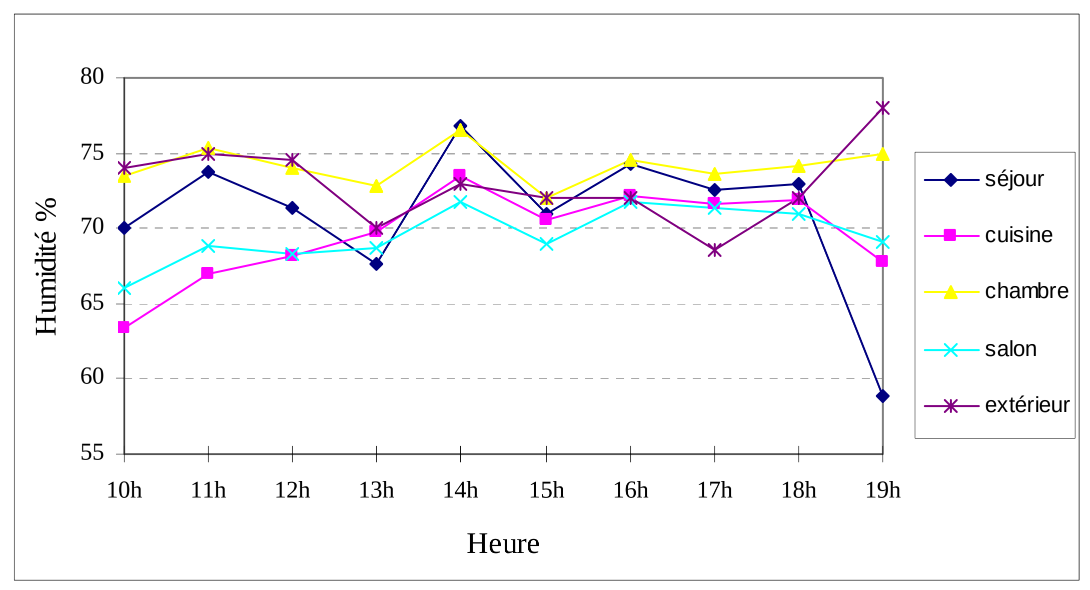
Nous avons retenu les sites qui disposaient d’une part d’informations intéressantes pour notre étude , et d’autre part, ceux qui ont répondu positivement à l’accueil de l’enquête. Pour chaque appartement, nous présentons, sous forme de tableau, un résumé des principales informations recueillies ainsi que les résultats des mesures et du questionnaire auprès des occupants.

<table>
<tr><td colspan="2">Appartement 1</td></tr>
<tr><td rowspan="3">



Date des mesures : 26/08/1998
Température moyenne intérieure : 28 °C
Température extérieure : 27.7 °C
Humidité relative moyenne intérieure : 71%
Humidité relative extérieure : 72.9%</td>
<td>Location : Zouk
Age : 10 ans , Rénové depuis 5 ans
Nombre d'occupants : 3
Surface : 165 m²</td></tr>
<tr><td>Systèmes
<u>Climatisation</u> : 1 climatiseur 3.5 kW dans le séjour (5jours par semaine pendant toute la journée, en été et 2 fois par semaine par intermittence pour les saisons moins chaudes), 1 climatiseur 3.5 kW dans la chambre 1 (utilisé de 21h à 7h en août 4 nuits par semaine, en juin, juillet et septembre 2 nuits par semaine), 1 climatiseur 3.5 kW dans le salon (peu utilisé)
<u>Chauffage</u> : collectif –mazout (puissance 40 kW, utilisé de novembre à mars le jour ne continu et la nuit parfois)
<u>Eau chaude sanitaire</u> : électrique, température de consigne 60°C, utilisé 4 jours par semaine</td></tr>
<tr><td>Principaux appareils électriques
<u>Réfrigérateur</u> : 3.3 kWh/24h
<u>Congélateur</u> : non
<u>Lave-vaisselle</u> : utilisé 1 fois par semaine
<u>Lave-linge</u> : 2300 W, utilisé 2 fois par semaine
<u>Télévision</u> : 2 (1 dans le séjour utilisée 16h/jour, 1 dans le salon utilisée 3 fois/semaine pendant 3 h)
<u>Magnétoscope</u> : non
<u>Chaîne Hi-fi</u> : utilisée rarement
<u>Fer à repasser</u>
<u>Cuisinière</u> : à gaz (8 kg/mois) + petite gazinière (8 kg/mois), <u>Micro-onde</u> : non
<u>Ventilateur</u> : 1100 W, utilisé une fois par semaine
Ventilateur de cuisine : utilisé en été tout le temps, et en hiver par intermittence
<u>Ordinateur</u> : utilisé 3h/semaine
Eclairage
<u>Lampes incandescentes</u> :15*60W+11*75W 6*25W
<u>Lampes fluorescentes</u> : 3*36W +1*18 W+2*60W
<u>Lampes basse consommation</u> :2*10W + 3*15W + 2*23W, <u>Halogène</u> : 1*500W</td></tr>
</table>





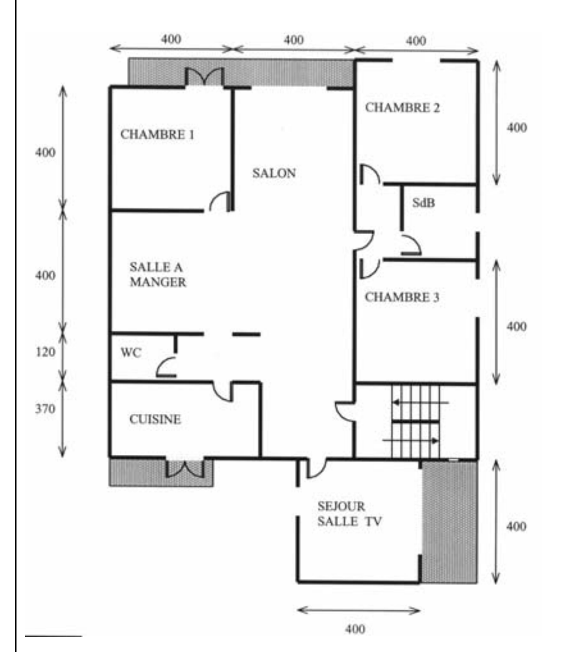
L'ensoleillement

Le point **1** : balcon- extérieur (est)
Le point **2** : porte balcon/cuisine
Le point **3** : fenêtre du salon 2
Le point **4** : porte balcon/séjour
Le point **5** : fenêtre de la chambre 1

10h 30	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Intérieur (W/m²)	82	12	292	50	72
Extérieur (W/m²)	94	16	390	65	83
13h 50	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Intérieur (W/m²)	325	35	146	51	374
Extérieur (W/m²)	450	47	254	62	486
16h	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Intérieur (W/m²)	463	302	60	96	544
Extérieur (W/m²)	566	386	85	114	676

Appartement 2





Date des mesures : 27/08/1998

Température moyenne intérieure : 30.5 °C

Température extérieure : 30.7 °C

Humidité relative moyenne intérieure : 70.4%

Humidité relative extérieure : 68.6%

Location : Beyrouth

Age : 37 ans, Peinture tous les 3 ans

Nombre d'occupants : 6

Surface : 52 m²

Systèmes

Climatisation : non

Chauffage : Radiateur mobile à gaz utilisé pour chauffer 2 pièces de décembre à mars surtout le soir

Eau chaude sanitaire : chauffe-eau à gaz

Principaux appareils électriques

Réfrigérateur

Congélateur : non

Lave-vaisselle : non

Lave-linge : utilisé 2 fois par semaine pendant 3h

Télévision : utilisée 10h/jour

Magnétoscope : utilisé 5h/semaine

Chaîne Hi-fi : utilisée rarement

Fer à repasser : utilisé 5h/semaine

Cuisinière : à gaz

Micro-onde : non

Ventilateur : 1100 W, utilisé une fois par semaine

Ventilateur de cuisine : utilisé en été tout le temps, et en hiver par intermittence

Ordinateur : utilisé 5-6/jour

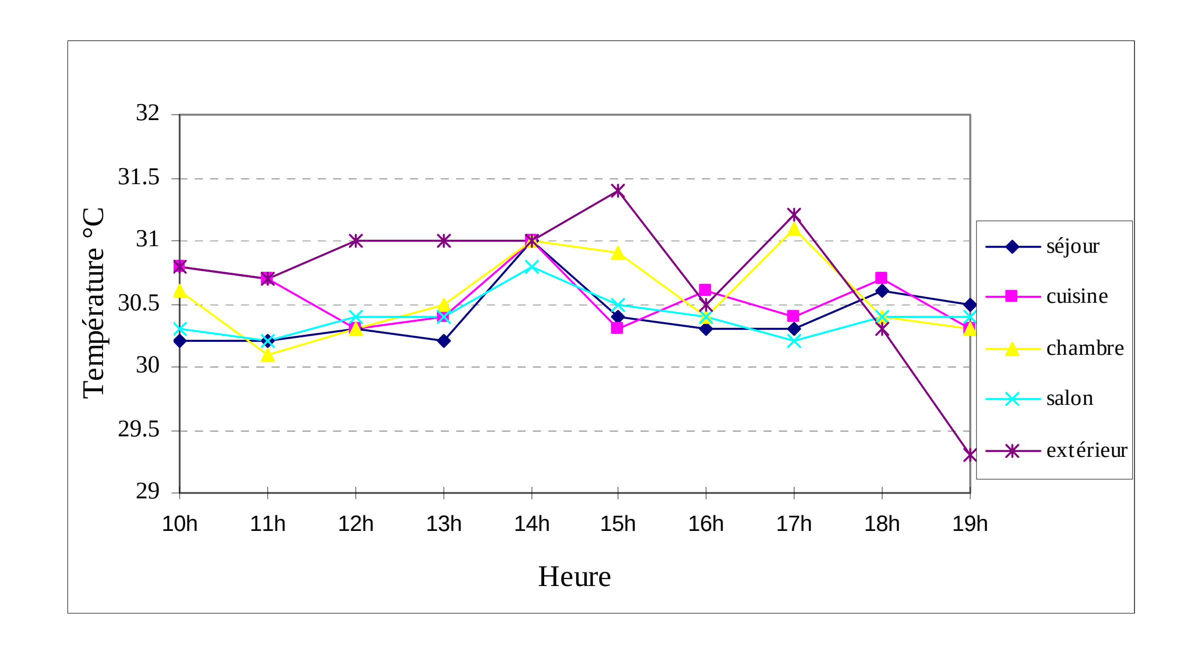
Eclairage

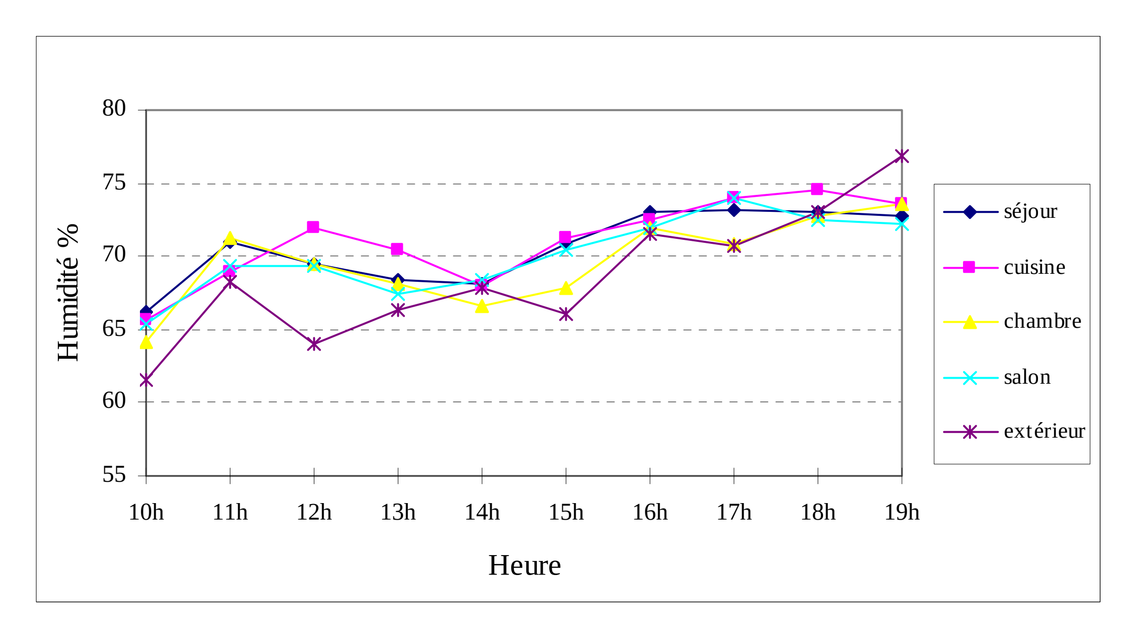
Lampes incandescentes : 10*60W + 1*75 W +1*40W +3*100W

Lampes fluorescentes : 1*20W

Lampes basse consommation : non

Halogène : non





L'ensoleillement

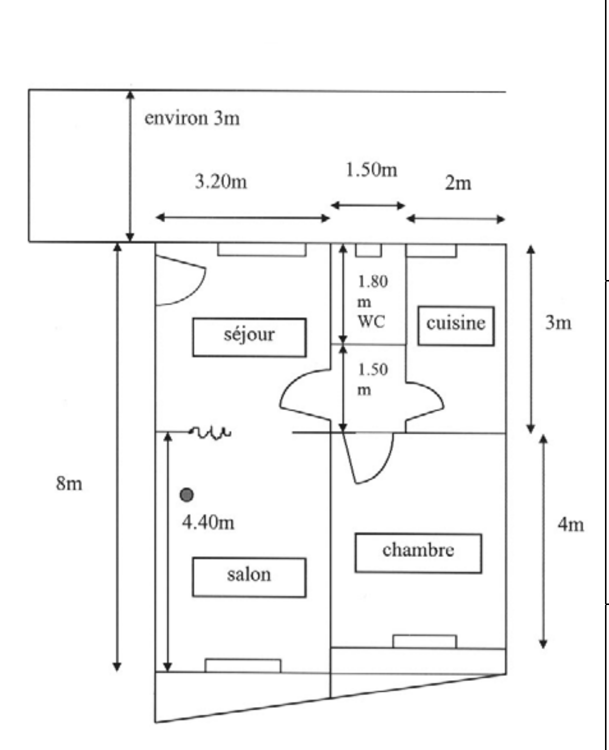
Le point **1** est situé à la fenêtre de la chambre
Le point **2** est situé à la fenêtre du séjour

Ciel trop couvert

11h 40	**1**	**2**
Intérieur (W/m²)	110	22
Extérieur (W/m²)	79	12

Trop ensoleillé

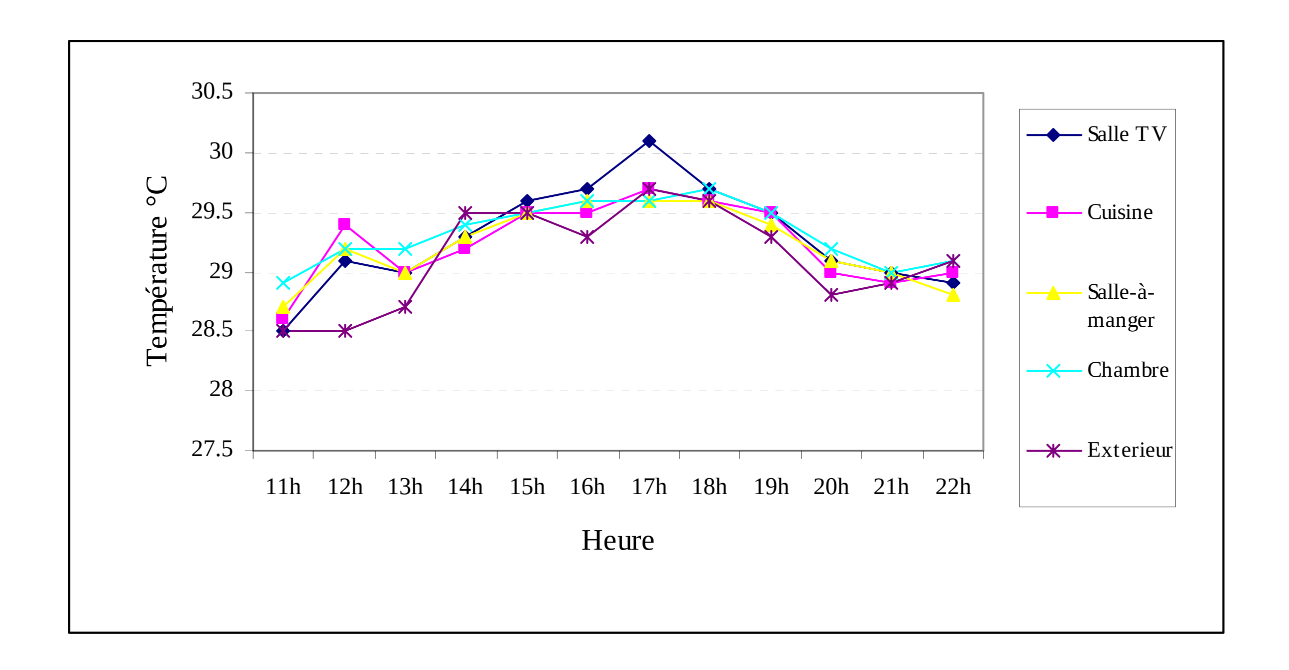
12h 10	**1**	**2**
Intérieur (W/m²)	355	27
Extérieur (W/m²)	270	16

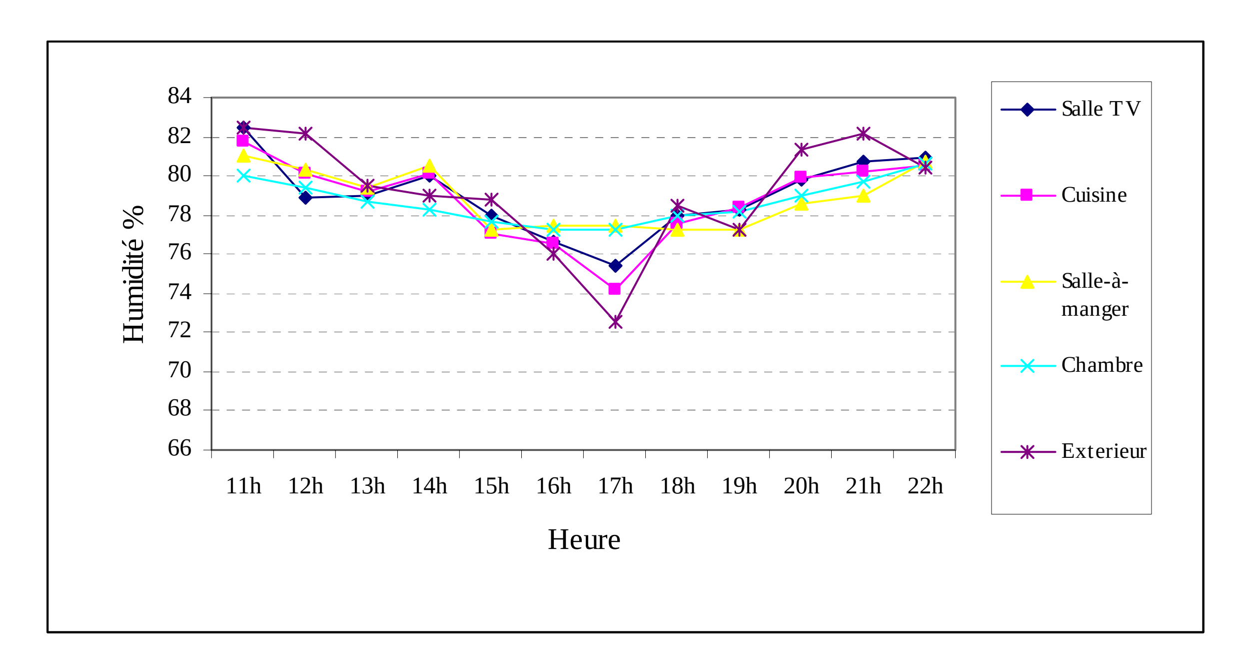
<table>
<tr><td colspan="2">Appartement 3</td></tr>
<tr><td>

Date des mesures : 20/08/1998
Température moyenne intérieure : 29.3 °C
Température extérieure : 29.1 °C
Humidité relative moyenne intérieure : 78.8%
Humidité relative extérieure : 79.2%</td>
<td>Location :Tripoli
Age : 30 ans
Nombre d'occupants : 2
Surface : 230 m²
Date des mesures : 11/08/1998

Systèmes
Climatisation : non
Chauffage : Chaudière à mazout utilisée de décembre à mars, le jour par intermittence utilisée l'hiver en permanence et l'été par intermittence
Eau chaude sanitaire : Chaudière à mazout

Principaux appareils électriques
Réfrigérateur
Congélateur
Lave-vaisselle : utilisé 1 fois/semaube
Lave-linge : utilisé 2 fois par semaine
Télévision : 85 W, utilisée 12h/jour
Magnétoscope : utilisé rarement
Chaîne Hi-fi : utilisée rarement
Fer à repasser :
Cuisinière : à gaz
Micro-onde : non
Ventilateur : 1 ventilateur utilisé en été quand il fait trop chaud
Ordinateur : non
Eclairage
Lampes incandescentes : 12*75 W +8*100W
Lampes fluorescentes : 6*36W
Lampes basse consommation : non
Halogène : non</td></tr>
</table>


30.5
30
29.5
29
28.5
28
27.5
Température °C
11h
12h
13h
14h
15h
16h
17h
18h
19h
20h
21h
22h
Heure
Salle TV
Cuisine
Salle-à-manger
Chambre
Exterieur


84
82
80
78
76
74
72
70
68
66
Humidité %
11h
12h
13h
14h
15h
16h
17h
18h
19h
20h
21h
22h
Heure
Salle TV
Cuisine
Salle-à-manger
Chambre
Exterieur

<table>
<tr><td colspan="2">Appartement 4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">

Date des mesures : 08/08/1998
Température moyenne intérieure : 28.5 °C
Humidité relative moyenne intérieure : 63%</td><td>Location : Zouk
Age : 10 ans
Nombre d’occupants : 5
Surface : 165 m²</td></tr>
<tr><td>Systèmes
Climatisation : 1 climatiseur dans le séjour
Chauffage : Chauffage collectif à mazout
Eau chaude sanitaire : électrique, température de consigne 60°C</td></tr>
<tr><td>Principaux appareils électriques
Réfrigérateur : 3.2 kWh/24h
Congélateur :
Lave-vaisselle : 0.6 W/h, utilisé 1 fois/mois
Lave-linge :
Télévision : 85 W
Magnétoscope : non
Chaîne Hi-fi : utilisée rarement
Fer à repasser :
Cuisinière : à gaz (8 kg tous les 20 jours)
Micro-onde : 360 W, utilisé 2 fois/semaine pendant 15mn
Ventilateur : 1 ventilateur dans la cuisine utilisé 2h/jour en hiver
Ordinateur : non
Eclairage
Lampes incandescentes : 16*75 W +4*100W + 2*40W
Lampes fluorescentes : 1*36W
Lampes basse consommation : non
Halogène : non</td></tr>
</table>

Questionnaire sur la sensation thermique

Questionnaire

SENSATION THERMIQUE

Date: ………………… Heure:………………
Nom :……………………………………………………………………………………………
Sexe :………………… Age : …………………
Activité professionnelle:……………………………………………………………………………
Depuis combien de temps êtes-vous dans cette pièce ? ……………………………………
Vêture : (cf. Liste jointe à remplir)

1) Mesures

	INTERIEUR	EXTERIEUR
TEMPERATURE		
HUMIDITE		

2) En ce moment précis, comment ressentez-vous l'air ambiant de ce local?
☐ très froid ☐ froid ☐ légèrement froid ☐ ni froid ni chaud ☐ chaud ☐ très chaud

3) En ce moment précis, vous souhaiteriez qu'il fasse :
☐ plus frais ☐ aucun changement ☐ plus chaud

4) Globalement, comment trouvez-vous l'ambiance de ce local?
☐ confortable ☐ légèrement inconfortable ☐ inconfortable ☐ très inconfortable ☐ intolérable

Résultats

	Personne interrogée					Mesures		Sensation thermique		
	Heure des mesures	Age (ans)	Sexe	Vêture (CLO)	Depuis combien de temps êtes-vous dans la pièce?	Température de la pièce °C	Humidité %	Comment ressentez-vous l'air ambiant du local?	Souhaite qu'il fasse	Sensatio globale
Appartement 1										
Personne 1	10h 15	18	M	0.3	10 mn	28.4	69	chaud	plus frais	confortable
Personne 2	11h 10	56	F	0.5		28.2	69	ni froid ni chaud	plus frais	confortable
Personne 3	11h 10	15	F	0.3		28.5	70	chaud	plus frais	confortable
Personne 4	15h		M	0.3	15 mn	28.2	71	ni froid ni chaud	plus frais	confortable
Personne 5	15h	34	F	0.3	15 mn	28.2	71	ni froid ni chaud	plus frais	confortable
Personne 6	11h 10	56	F	0.3	1 h	28.6	67	ni froid ni chaud	plus frais	légèrement inconfortable
Personne 7	15h	56	F	0.3	15 mn	28.2	71	ni froid ni chaud	plus frais	confortable
Appartement 2										
Personne 1	11h	23	M	0.3	1h	30.2	69.3	ni froid ni chaud	plus frais	inconfortable
Personne 2	17h	23	M	0.3	5 mn	30.3	73.2	ni froid ni chaud	plus frais	inconfortable
Personne 3	17h	24	F	0.3	1h	30.3	73.2	chaud	plus frais	très inconfortable
Personne 4	17h	51	F	0.3	1h	30.3	73.2	chaud	plus frais	inconfortable
Appartement 3										
Personne 1	14h 25	59	M	0.3	1h	30.5	85	ni froid ni chaud	plus frais	confortable
Personne 2	14h 25	33	F	0.3	30 mn	30.5	85	ni froid ni chaud	plus frais	confortable

ANNEXE III.a

Questionnaire sur l’intérêt des libanais pour une certification énergétique

Quest. N°

ANALYSE DE L'INTERET D'UNE CERTIFICATION ENERGETIQUE DANS LE SECTEUR RESIDENTIEL AU LIBAN

I - IDENTIFICATION DE L'HABITATION

1. Localité : ……………………………………………………………………………………………

2. Type d'habitation

◯ 1. Appartement
Etage:…………..

◯ 2. Maison
Nb de niveaux :…………..

3. Statut d'occupation du logement

◯ 1. Propriétaire ◯ 2. Locataire ◯ 3. Autre: ……………………….

4. Energie principale utilisée pour le chauffage ?

◯ 1. Electricité ◯ 2. Mazout ◯ 3. Gaz ◯ 4. Charbon ◯ 5. Autre

5. Energie utilisée pour l'eau chaude sanitaire?

◯ 1. Electricité ◯ 2. Mazout ◯ 3. Gaz ◯ 4. bois ◯ 5. Autre

II - INTERET GLOBAL

6. Connaissez-vous le montant des dépenses d'énergie pour votre habitation ?

◯ 1. OUI ◯ 2. NON

7. Si OUI, pouvez-vous indiquer les chiffres globaux en kWh ? en LL ?

◯ 1. KWh ◯ 2. LL

7bis. Si NON, expliquez pourquoi: ....

....

8. Souhaiteriez-vous que la consommation de votre habitation soit comparée aux consommations des habitations similaires ?

◯ 1. Oui ◯ 2. Non ◯ 3. Ne sait pas ◯ 4. Indifférent

9. Etes-vous demandeur d'une information détaillée sur vos dépenses d'énergie et votre consommation ?

◯ 1. Oui ◯ 2. Non ◯ 3. Ne sait pas ◯ 4. Indifférent

III - EVALUATION DES INFORMATIONS SOUHAITEES

Que pensez-vous de l'importance des informations suivantes dans la certification énergétique :

10. La consommation globale d'énergie

◯ 1. Très utile ◯ 2. Plutôt utile ◯ 3. Utile ◯ 4. Inutile ◯ 5. Sans opinion

11. Les consommations d'énergie par usages (chauffage, eau chaude, appareils, éclairage,…)

◯ 1. Très utile ◯ 2. Plutôt utile ◯ 3. Utile ◯ 4. Inutile ◯ 5. Sans opinion

12. Les performances de vos équipements électroménagers et de votre éclairage

◯ 1. Très utile ◯ 2. Plutôt utile ◯ 3. Utile ◯ 4. Inutile ◯ 5. Sans opinion

13. Les caractéristiques techniques de votre habitation

◯ 1. Très utile ◯ 2. Plutôt utile ◯ 3. Utile ◯ 4. Inutile ◯ 5. Sans opinion

IV - INFORMATION LIEE AUX POSSIBILITES D'AMELIORATIONS

14. Seriez-vous prêt à recevoir un expert en énergie chez vous, pour qu'il collecte les informations et fasse les mesures nécessaires à l'établissement d'un certificat indiquant les possibilités d'amélioration(s) énergétique(s) ?

◯ 1. Oui ◯ 2. Non ◯ 3. Ne sait pas

15. Si ce service était payant, jusqu'à quelle somme seriez-vous prêt(e) à payer un tel service (indication des travaux permettant des économies d'énergie) ?

◯ 1. 50 000 LL ◯ 2. 50 000 à 100 000 LL ◯ 3. 100 000 à 200 000 LL
◯ 4. Plus de 200 000 LL ◯ 5. Autre:……………………..

16. Quel type d'amélioration vous paraît le plus envisageable ? (plusieurs choix sont possibles)

◯ 1. Amélioration de l'enveloppe ◯ 2. Remplacement d'appareils électroménagers
◯ 3. Amélioration des systèmes ◯ 4. Changement des habitudes
◯ 5. Autre:

Commentaires :…………………………………………………………………………………

....

....

17. Que pensez-vous globalement du principe consistant à fournir un "certificat énergétique" pour informer les occupants sur leur consommation?

- ◯ 1. Très bien
- ◯ 2. Bien
- ◯ 3. Assez bien
- ◯ 4. Moyen
- ◯ 5. Mauvais

V - IDENTIFICATION DE LA PERSONNE ENQUÊTEE

18. Votre catégorie Socio-Professionnelle

- ◯ 1. Cultivateur, exploitant agricole
- ◯ 2. Commerçant, Artisan, Cadre supérieur
- ◯ 3. Cadre moyen, Enseignant
- ◯ 4. Employé
- ◯ 5. Ouvrier
- ◯ 6. Sans emploi
- ◯ 7. Etudiant
- ◯ 8. Retraité
- ◯ 9. Autre

19. Votre âge

- ◯ 1. - 25
- ◯ 2. 26 à 35 ans
- ◯ 3. 36 45 ans
- ◯ 4. 46 à 55 ans
- ◯ 5. 56 à 65 ans
- ◯ 6. 66 à 75 ans
- ◯ 7. 76 ans et plus

COMMENTAIRES: ....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

Résultats

I – IDENTIFICATION DE L'HABITATION

1. Localité

Tripoli	4
Beyrouth	2
Ajaltoun	1
Ballouné	3
Tripoli- Maarad	5
Tripoli - Mina	9
Jounieh	1
Tripoli-abou samra	13
Akkar	3
Kalmoun	1
Zgharta	2
Koura	1
Shaheil	1
Batroun	1
Tripoli-zahrié	1
Rass-maska	2
Tripoli-monla	4
Haykalié	2
Zahlé	1
matall	1
Tripoli-Azmi	1
Chiyyah - Beyrouth	1
Tayyouneh - Beyrouth	2
Ain-Rimaneh- Beyrouth	1
Achrafieh- Beyrouth	1
Mazar - Beyrouth	1
Nabatieh	1
Zouk Mosbeh	1
Chiah - Beyrouth	1
Chouf - Mont-Liban	1
Baabda	1
Total	70

2. Type d'habitation

Type d'habitation?	Nombre	Fréquence
Appartement	60	85.7%
Maison	10	14.3%
Total observé	70	100%

3. Statut d'occupation du logement

Statut d'occupation?	Nombre	Fréquence
Propriétaire	53	75.7%
Locataire	16	22.9%
Autre	1	1.4%
Total observé	70	100%

Autre : Avec ses parents

4. Energie principale utilisée pour le chauffage?

Energie pour le chauffage	Nombre	Fréquence
Electricité	34	48.6%
Mazout	11	15.7%
Gaz	22	31.4%
Charbon	0	0.0%
Autre	1	1.4%
non-chauffage	2	2.9%
Total observé	70	100.0%

Une seconde énergie de chauffage

Deuxième énergie de chauffage	Nombre	Fréquence
Electricité	0	0.0%
Mazout	2	15.4%
Gaz	10	76.9%
Charbon	1	7.7%
Autre	0	0.0%
Total observé	13	100.0%

Pour le gaz : 3 bouteilles/mois en moyenne soit 30 000 LL
Pour le mazout : en moyenne 380 000 LL/saison
A ajouter le gaz pour la cuisson

5. Energie principale utilisée pour l'eau chaude sanitaire?

Energie pour l'ECS?	Nombre	Fréquence
Electricité	56	80.0%
Mazout	6	8.6%
Gaz	8	11.4%
Charbon	0	0.0%
Autre	0	0.0%
Total observé	70	100.0%

Une seconde énergie pour l'ECS

Deuxième énergie pour l'ECS?	Nombre	Fréquence
Electricité	0	0.0%
Mazout	2	28.6%
Gaz	2	28.6%
Charbon	2	28.6%
Autre	1	14.3%
Total observé	7	100.0%

II – INTERET GLOBAL

6. Connaissez-vous le montant des dépenses d'énergie pour votre habitation?

Connaît la facture?	Nombre	fréquence
oui	68	97.1%
non	2	2.9%
Total observé	70	100.0%

Non
Pas d'intérêt
Facture pas assez claire

8. Souhaiteriez-vous que la consommation de votre habitation soit comparée aux consommations des habitations similaires?

Comparaison ?	Nombre	fréquence
oui	54	77.1%
non	7	10.0%
ne sait pas	5	7.1%
indifférent	4	5.7%
Total observé	70	100.0%

Ne sait pas ou indifférent
- ils supposent qu'ils font eux-mêmes la comparaison
- ne voit pas trop l'intérêt, mais pourquoi pas!

9. Etes-vous demandeur d'une information détaillée sur vos dépenses d'énergie et votre consommation?

Informatin détaillée?	Nombre	fréquence
oui	58	82.9%
non	5	7.1%
ne sait pas	3	4.3%
indifférent	4	5.7%
Total observé	70	100.0%

III – EVALUATION DES INFORMATIONS SOUHAITEES

Que pensez-vous de l'importance des informations suivantes dans la certification énergétique:

10. La consommation globale d'énergie

Consommation globale d'énergie?		fréquence
très utile	27	38.6%
plutôt utile	28	40.0%
utile	13	18.6%
inutile	1	1.4%
sans opinion	1	1.4%
Total observé	70	100.0%

11. Les consommations d'énergie par usages (chauffage, eau chaude, appareils, éclairage,…)

Consommation par usage?		fréquence
très utile	26	37.1%
plutôt utile	24	34.3%
utile	10	14.3%
inutile	8	11.4%
sans opinion	2	2.9%
Total observé	70	100.0%

12. Les performances de vos équipements électroménagers et de votre éclairage

Performance des équipements?		fréquence
très utile	23	32.9%
plutôt utile	24	34.3%
utile	17	24.3%
inutile	5	7.1%
sans opinion	1	1.4%
Total observé	70	100.0%

13. les caractéristiques de votre habitation

Caractéristiques de l'habitation?		fréquence
très utile	24	34.3%
plutôt utile	28	40.0%
utile	12	17.1%
inutile	5	7.1%
sans opinion	1	1.4%
Total observé	70	100.0%

IV – INFORMATION LIEE AUX POSSIBILITES D'AMELIORATIONS

14. Seriez-vous prêt à recevoir un expert en énergie chez vous, pour qu'il collecte les informations nécessaires à l'établissement d'un certificat indiquant les possibilités d'amélioration(s) énergétique(s)?

Visite d'un expert?	Nombre	fréquence
oui	59	84.3%
non	6	8.6%
ne sait pas	5	7.1%
Total observé	70	100.0%

15. Si ce service était payant, jusqu'à quelle somme seriez-vous prêt(e) à payer un tel service (indication des travaux permettant des économies d'énergie)?

Prêt à payer?	Nombre	fréquence
50 000	25	39.7%
entre 50000 et 100000	9	14.3%
entre 100000 et 20000	4	6.3%
plus de 200000	2	3.2%
< 50000	9	14.3%
selon l'économie	4	6.3%
0	10	15.9%

16. Quel type d'amélioration vous paraît le plus envisageable? (plusieurs choix sont possibles)

Type d'amélioration ?	Nombre	fréquence
amélioration de l'enveloppe	20	29.4%
remplacement d'appareils électroménagers	7	10.3%
amélioration des systèmes	9	13.2%
changement des habitudes	32	47.1%
autre	0	0.0%
Total observé	68	100.0%

Autres choix

Autre choix	Nombre	fréquence
amélioration de l'enveloppe	5	10.2%
remplacement d'appareils électroménagers	13	26.5%
amélioration des systèmes	22	44.9%
changement des habitudes	8	16.3%
autre	1	2.0%
Total observé	49	100.0%

Commentaires
- Améliorations tout à fait envisageables
- En dernier changer les habitudes et les appareils
- La solution la plus facile et la moins chère
- Surtout améliorer éclairage et appareils + enveloppe si pas trop chère
- Amélioration de l'enveloppe car problème (surtout humidité) - 2
- ECS
- Ils font attention à leurs consommations - 8
- Amélioration selon l'économie - 3

17. que pensez-vous globalement du principe consistant à fournir un "certificat énergétique" pour informer les occupants sur leur consommation?

Principe du "certificat énergétique"		fréquence
très bien	38	54.3%
bien	22	31.4%
assez bien	5	7.1%
moyen	5	7.1%
mauvais	0	0.0%
Total observé	70	100.0%

V – IDENTIFICATION DE LA PERSONNE ENQUETEE

18. Catégorie socio-professionnelle

Activité socio-professionnelle	Nombre	fréquence
1. Cultivateur, exploitant agricole	0	0.0%
2. Commerçant, artisan, cadre supérieur	10	14.3%
3. Cadre moyen, enseignant	15	21.4%
4. Employé	19	27.1%
5. Ouvrier	1	1.4%
6. Sans emploi	8	11.4%
7. Etudiant	1	1.4%
8. Retraité	3	4.3%
9. Autre	13	18.6%
Total observé	70	100.0%

Autre
Médecin
Esthéticienne
Technicien
Boulanger
Pharmacien
Général (Armée)
Commandant (Armée)
Avocat
Architecte
Dentiste

19. Age

Age	Nombre	fréquence
1. Moins de 25 ans	1	1.4%
2. 26 à 35 ans	14	20.0%
3. 36 à 45 ans	25	35.7%
4. 46 à 55 ans	16	22.9%
5. 56 à 65 ans	9	12.9%
6. 66 à 75 ans	5	7.1%
7. 76 ans et plus	0	0.0%
Total observé	70	100.0%

ANNEXE IV.a

Description des simulations au moyen de ESP

Cet annexe décrit brièvement la structure et les fonctionnalités du logiciel de simulation énergétique de bâtiments : ESP (Energy System Performance) ainsi que les entrées nécessaires pour les simulations et les données simulées.

1. Description générale de ESP

ESP est un code de simulation dynamique détaillé, capable de modéliser les flux d'énergie et de masse au sein du bâtiment, couplé avec sons système de chauffage/climatisation.

Le bâtiment est défini comme une ensemble de zones polyhédriques interconnectées, dont la géométrie, les éléments constructifs et le type d'occupation sont spécifiés par l'utilisateur au moyen des modules d'entrée ESPimp. Le système peut alors être soumis au processus de simulation dynamique selon une stratégie de contrôle (chauffage, ventilation ou climatisation) également spécifiée par l'utilisateur. Les sorties possibles sont très nombreuses (ESPout), sous forme de graphiques ou de tableaux, du bilan énergétique par zone au profil de température dans les murs du bâtiment et à l'appréciation du confort.

ESP comprend des modules principaux (au sens où l'utilisateur doit forcément passer par l'un d'entre eux pour réaliser une simulation) et des modules secondaires (au sens où ils ne sont utilisés que pour des cas spécifiques où l'on désire une précision supplémentaire), par exemple sur les mouvements d'air entre zones (ESPair), sur les apports internes (ESPpro), sur les ombres portées (ESPshd), sur la transmission du rayonnement solaire(ESPins), etc.

La référence donnant les bases théoriques et les lois empiriques utilisées pour les calculs est le livre de J.A.Clarke « Energy Simulation in building design », 1985 , Adam Highler Ltd, Bristol and Boston. Nous laissons le lecteur se reporter à cet ouvrage pour les détails, nous nous contenterons ici de donner les principes et les hypothèses du calcul thermique utile à nos simulations.

2. Hypothèses du calcul

Traitement des échanges conductifs

La méthode choisie pour la résolution des équations de transferts de masse et d'énergie est la formulation en différences finies (schéma d'Euler). Le système bâtiment est discrétisé par l'implémentation de nœuds en des points choisis pour être caractéristiques (le nombre et le positionnement des nœuds est transparent pour l'utilisateur). Ces nœuds représentent des volumes homogènes ou mixtes, tel que portion de fluide, ou élément de surface opaque ou transparente. Les nœuds situés à la liaison entre différents éléments homogènes représentent des régions à propriétés thermiques mixtes. En pratique la description des échanges conductifs de chaleur ne nécessite pas toujours un schéma tridimensionnel

Traitement des échanges radiatifs

Les échanges radiatifs GLO (grande longueur d'onde) entre surfaces intérieures sont linéarisés et le coefficient d'échange radiatif est calculé en fonction des températures des surfaces au pas de temps courant (le calcul est donc itératif). L'émissivité des surfaces est supposée égale à leur absorptivité (corps gris). Les facteurs de forme sont calculés au prorata des surfaces quand une précision importante n'est pas requise.

Les échanges radiatifs GlO extérieurs sont calculés en fonction des conditions ambiantes extérieures : ciel, sol et écrans (par exemple bâtiment voisin), selon l'implémentation du bâtiment qui détermine les facteurs de forme.

La part de rayonnement CLO (courte longueur d'onde) absorbée, réfléchie, ou transmise est définie par l'utilisateur selon la nature de la paroi (opaque ou vitrée). Quand il s'agit d'un vitrage, l'utilisateur spécifie en entrée du programme le facteur de transmission énergétique pour un flux direct selon 5 angles d'incidence allant de 0 à 90°. Pour les parois opaques, le flux incident est supposé diffus et un seul facteur d'absorption énergétique est considéré.

Le flux solaire transmis est reçu par une ou plusieurs surfaces intérieures et la partie non absorbée est réfléchie vers les autres surfaces. L'hypothèse d'une réflexion diffuse est retenue, comme pour les échanges radiatifs GLO.

Traitement des échanges convectifs

Le coefficient d'échange convectif est calculé en fonction de la vitesse d'air, parallèlement à la surface. En convection naturelle, ce coefficient dépend de l'écart de température entre le

nœud de surface et le nœud du fluide en contact. Il est cependant possible d'imposer des coefficients d'échanges superficiels globaux constants en utilisant une option d'ESP.

Traitement du renouvellement d'air

L'utilisateur peut introduire un taux de renouvellement d'air échangé avec l'extérieur (« infiltration ») qui englobe les infiltration d'air parasites et le débit de renouvellement d'air spécifique par la ventilation, et un taux de renouvellement d'air avec les autres zones simulées (« ventilation »). Ces entrées peuvent varier dans la journée et différer la semaine des week-end.

Climat

Les données météorologiques nécessaires sont les valeurs horaires de :

- la température extérieure sèche,
- l'irradiation solaire globale horizontale (ou irradiation solaire directe normale) et diffuse horizontale,
- la vitesse du vent et sa direction en degrés par rapport au nord,
- l'humidité.

les données climatiques utilisées pour les simulations sont les valeurs annuelles « normalisées » pour les sites de Macon et Nice issues de la banque de données réalisée par le CSTB pour le compte du Ministère (Direction de la Construction).

Traitement des gains internes

Les gains internes sont définis comme le taux de renouvellement d'air de façon journalière ou hebdomadaire sous la forme d'une puissance calorifique restituée à la zone sous forme convective et/ou radiative. La part radiative est alors distribuée au prorata des surfaces intérieures, tandis que la part convective est apportée directement au nœud intérieur.

Traitement du chauffage

Une des caractéristiques de ESP est la possibilité de simuler de façon détaillée le fonctionnement d'un système de chauffage. Il existe cependant la possibilité de simuler d'une façon simplifiée, c'est l'option que nous avons choisie, dans la mesure où on ne s'intéresse pas ici au comportement et au rendement du système de chauffage. Le rendement de chauffage est donc de 1.

En ce qui concerne la régulation, plusieurs possibilités sont offertes par le programme, ce qui nous a permis de simuler :

- une régulation parfaite du chauffage, à température de consigne fixe pendant la saison de chauffe
- une évolution libre pour les zones non occupées

Sorties de ESP

Les résultats du calcul sont stockés dans un fichier général.

- la puissance (ou l'énergie) de chauffage/climatisation
- la température d'air intérieur de chaque zone
- la température résultante et la température radiante moyenne
- les températures de surface intérieures et extérieures des éléments constructifs
- les températures des nœuds intérieurs aux parois
- le flux correspondant au renouvellement d'air avec l'extérieur ou les zones couplées
- le flux échangé par conduction par les parois opaques, les fenêtres et les portes
- la température la charge solaire au nœud de température d'air
- la charge thermique due aux apports internes
- le flux convectif à la surface des parois opaques
- le flux radiatif aux surfaces intérieures et extérieures des parois opaques
- l'humidité relative de la zone
- la condensation en surface et à l'intérieur des parois
- la température d'air extérieur
- l'irradiation solaire globale et diffuse
- la vitesse du vent, et sa direction
- l'humidité relative extérieure
-

3. Les données simulées

Description de la maison simulée

La maison qui a servi de base pour nos simulations comporte deux zones non chauffées (le comble et le garage). La partie chauffée est divisée en 8 zones (jour, cuisine, chambre1, chambre 2, chambre 3, nuit, nuit 1, wc+bain)

Le plancher est supposé sur terre pleine.

Elle est formée deux étages avec une surface au sol de 69.33 m^2 et une surface totale des fenêtres de 12.83 m^2. Le salon et la salle à manger sont orientées au nord.

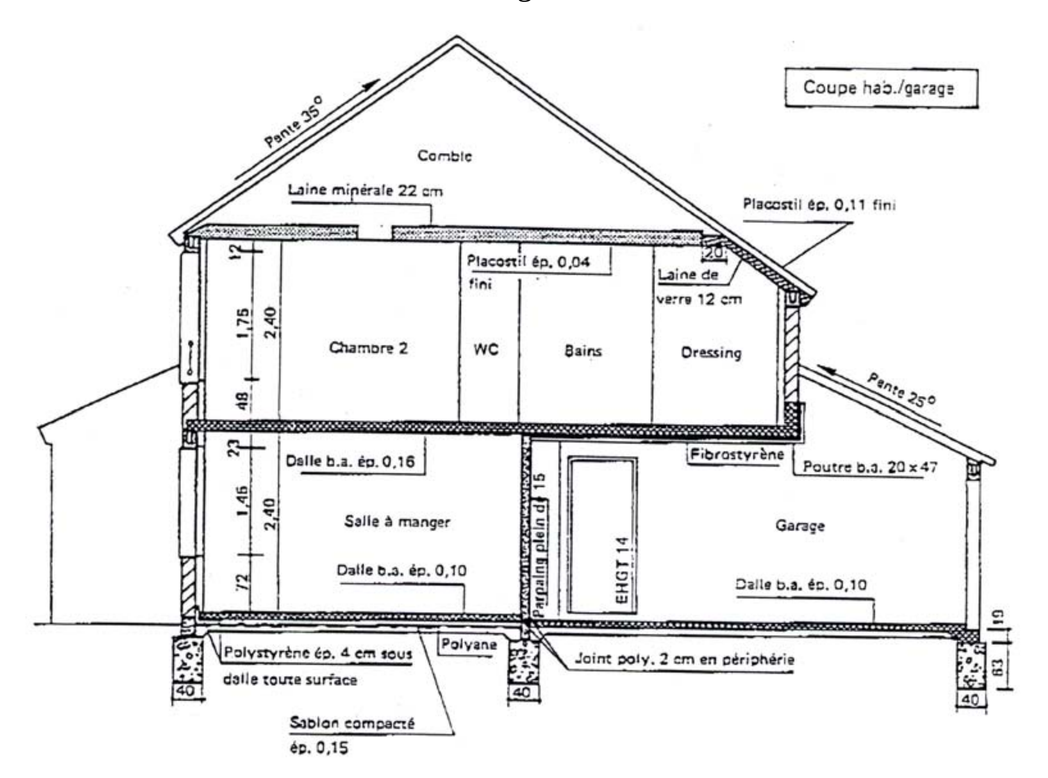


Figure 1: Coupe

Figure 2: Plans RDC et 1er étage

Chauffage

Nous considérons un contrôle de chauffage basé sur la température intérieure 24h/24 pour toute la maison.

Température de consigne

Elle est de 19°C pour toute la maison 24h/24.

Taux de renouvellement d'air

Le taux de ventilation varie d'une zone à l'autre (suivant l'utilisation de la zone et des études antérieures).(tableau 1)

Zone	Infiltration	Ventilation	Vent. Index
Jour	0.58		
Cuisine		3	1
Garage	1		
Chambre 1	0.37		
Chambre 2	0.69		
Chambre 3	0.57		
Nuit		1	1
Nuit 1		1	8
Wc + bain		2.3	2
Comble	1		

Tableau 1: Taux de renouvellement d'air

Climat

Deux climats sont étudiés : Nice et Macon. Les conditions climatiques sont connues heure par heure.

Les gains internes

Occupation : Nous considérons que la maison est occupée par 4 personnes (2 adultes qui travaillent et 2 enfants au collège). Le scénario d'occupation est donné dans le tableau 2.

Rapporté aux zones, le scénario d'occupation ainsi que les gains sont donnés dans le tableaux 3 et 4 avec 33 % de part radiative et 37% de part convective.

Occupants	Jour	Début de présence	Fin de présence
2 adultes + 2 enfants	Jour de semaine	0	8h
1 adulte + 2 enfants		11h 30	13h
		17h	20h
2 adultes +2 enfants		20h	24h
2 adultes +2 enfants	Samedi et dimanche	0	11h
		15h	24h
ETÉ			
2 adultes + 2 enfants	Jour de semaine	0	8h
1 adulte + 2 enfants		8h	11h
		17h	20h
2 adulte +2 enfants		20h	24h
2 adulte +2 enfants	Samedi et dimanche	0	11h
		17h	24h

Tableau 2: Scénario d'occupation et de présence des occupants

Zone	Jour	Occupants	Début de présence	Fin de présence	Chaleur sensible W	Chaleur latente W
Jour	Jour de semaine	2 adultes + 1 enfant	17h	20h	220	151
			20h	23h	220	151
	Samedi et dimanche	2 adultes +2 enfants	16h	23h	280	192
Cuisine	Jour de semaine+ Samedi et dimanche	2 adultes +2 enfants	7h	8h	280	192
			20h	22h	280	192
		2 adultes + 1 enfant	12h	13h	220	151
Garage		1 adulte	19h	20h	80	55
Chambre 1		1 enfant	0	8h	60	41
			18h	20h	60	41
Chambre 2		1 enfant	0	8h	60	41
			18h	20h	60	41
Chambre 3		2 adultes	0	8h	160	110
			21h	23h	160	110
Nuit		1adulte + 1 enfant	7h	8h	140	96
			19h	20h	140	96
Nuit 1		1adulte	18h	19h	80	55
Wc + bain		1adulte + 1 enfant	7h	8h	140	96
			19h	20h	140	96

Tableau 3: Scénario d'occupation et de présence des occupants par zone

Eclairage : nous avons choisi les lampes par rapport à un éclairage conventionnel pour une maison. Nous considérons des lampes incandescentes, fluorescentes, fluocompactes et halogènes. Le tableau 3 donne la liste des lampes choisies pour chaque zone. (tableau 4)

Zone	Type 1	Type 2
Jour (salon + s.à.m. + entrée)	75 W + halogène 500 W + 75 W +40 W	13 W + 23 W + 13 W + 9 W
Cuisine	75 W (plafond) + 60W	13 W + 60 W
Garage	60 W	9 W
Chambre 1	60 W	9 W
Chambre 2	60 W	9 W
Chambre 3	60 W + 2*40 W (chevets)	9 W + 2*9 W
Nuit	40 W	9 W
Nuit 1	60 W	9 W
Wc + bain	75 W + 60 W	13 W + 60W
Comble	40 W	9 W

Tableau 4: Répartition et type des lampes

Le scénario d'utilisation de l'éclairage ainsi que les gains sont donnés dans le tableau, avec un rapport/convectif de 0.8/0.2 pour les lampes incandescentes et 0.5/0.5 pour les lampes fluorescentes. (tableau 5)

Zone	**Jour**	**Début de présence**	**Fin de présence**	**Chaleur sensible W Radiat/conv.**
Jour	Jour de semaine+ Samedi et dimanche	17h	20h	190/27
		20h	23h	690/50
Cuisine		7h	8h	75/13
		20h	22h	75/13
		20h	22h	60/60
Garage		19h	20h	60/9
Chambre 1		7h	8h	60/9
		18h	20h	
Chambre 2		7h	8h	60/9
		18h	20h	
Chambre 3		7h	8h	60/9
		22h	24h	140/27
Nuit		17h	23h	40/9
Nuit 1		18h	19h	60/9
Wc + bain		7h	8h	75/13
		19h	20h	
		7h	8h	60/60
		19h	20h	
Eté				
Jour		20h	23h	

* Inc/Fluor

Tableau 5: Scénario d'utilisation des lampes

Appareils : Le choix des appareils et du scénario d'utilisation est basé sur plusieurs études faites sur répartition et les consommations des divers appareils électroménagers des ménages.

Nous avons fait une étude bibliographique concernant la récupération des gains internes provenant des appareils.

Nous considérons dans nos valeurs la consommation réelle des appareils qui tient en compte l'usage. Le pourcentage des gains en chaleur sensible et latente dépend de chaque appareil.

Nous considérons 1185 W pour la cuisson (avec une répartition 60% électricité et 40% gaz) pour une durée de 2 h/jour.(tableau 6)

Zone	**Appareil**	**Classe**	**Jour**	**Début de présence**	**Fin de présence**	**Puissance W**	**Chaleur sensible W**	**Chaleur latente W**
Jour	Télévision		Jour de semaine	18h	23h	85	85	0
			Veille	6h	18h	10	10	
			Samedi et dimanche	17h	23h	85	85	
			veille	6h	18h	10	10	
Cuisine	Réfrigérateur	A	Jour de semaine + samedi + dimanche	0	24	17	17	0
		D				40	40	0
		F				50	50	0
	Congélateur	A	Jour de semaine + samedi + dimanche	0	24	32	32	0
		D				65	65	0
		F				75	75	0
	Lave-linge	A	Samedi	9h	10h	1100	44	1056
				17h	18h			
			Dimanche	9h	10h			
				18h	19h			
		D	Samedi	9h	10h	1400	48	1352
				17h	18h			
			Dimanche	9h	10h			
				18h	19h			
	Lave-vaisselle	1	Jour de semaine + samedi + dimanche	20h	21h	1600	400	1200
		2		20h	21h	1900	475	1425
	Cuisson		Jour de semaine + samedi + dimanche	12h	13h	1185	1185	610
				19h	20h			
Garage	Sèche-linge	C	Samedi	11h	12h	1950	682	1268
				19h	20			
			Dimanche	19h	20h			
		E	Samedi	11h	12h	2400	840	1560
				19h	20			
			Dimanche	19h	20h			

Tableau 6: Types et scénario d'utilisation des appareils

ANNEXE IV.b

Résultats des simulations

Simulation 1 - Sans gains internes, avec gains solaires				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	0.0	0.0	0.0	2039.0
Février	0.0	0.0	0.0	1641.1
Mars	0.0	0.0	0.0	1505.0
Avril	0.0	0.0	0.0	627.4
Mai	0.0	0.0	0.0	258.5
Juin	0.0	0.0	0.0	113.2
Juillet	0.0	0.0	0.0	45.5
Août	0.0	0.0	0.0	11.4
Septembre	0.0	0.0	0.0	158.7
Octobre	0.0	0.0	0.0	752.4
Novembre	0.0	0.0	0.0	1519.3
Décembre	0.0	0.0	0.0	2143.5
Total	0.0	0.0	0.0	10815.0

Simulation 2 - Avec gains internes, avec gains solaires				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	262.6	272.1	534.8	1561.3
Février	236.0	244.8	480.9	1241.9
Mars	260.4	270.2	530.6	1069.2
Avril	252.2	261.8	514.0	319.1
Mai	262.6	272.1	534.8	92.5
Juin	252.2	261.8	514.0	18.1
Juillet	261.7	271.4	533.1	3.9
Août	261.3	271.0	532.3	0.3
Septembre	252.2	261.8	514.0	31.6
Octobre	262.6	272.1	534.8	394.3
Novembre	252.2	261.8	514.0	1097.0
Décembre	260.4	270.2	530.6	1711.5
Total	3076.7	3191.1	6267.8	7540.7

Simulation 3 - Utilisation d'appareils performants, avec Qi, avec Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	222.1	155.8	377.8	1721.0
Février	199.5	139.8	339.4	1361.9
Mars	220.0	154.1	374.2	1208.7
Avril	213.2	149.4	362.6	413.2
Mai	222.1	155.8	377.8	129.5
Juin	213.2	149.4	362.6	40.2
Juillet	221.2	155.1	376.3	14.1
Août	220.9	154.8	375.7	2.3
Septembre	213.2	149.4	362.6	63.1
Octobre	222.1	155.8	377.8	502.6
Novembre	213.2	149.4	362.6	1221.2
Décembre	220.0	154.1	374.2	1825.2
Total	2600.8	1822.7	4423.5	8503.1

Simulation 4 - Changement de l'emplacement de certains appareils, avec Qi, avec Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	264.7	274.2	539.0	1619.7
Février	237.7	246.5	484.2	1271.9
Mars	262.0	271.9	534.0	1111.4
Avril	253.9	263.4	517.4	342.4
Mai	264.7	274.2	539.0	92.6
Juin	253.9	263.4	517.4	23.1
Juillet	263.4	273.1	536.5	6.6
Août	263.4	273.1	536.5	0.7
Septembre	253.9	263.4	517.4	38.5
Octobre	264.7	274.2	539.0	416.8
Novembre	253.9	263.4	517.4	1124.7
Décembre	262.0	271.9	534.0	1723.9
Total	3098.5	3212.9	6311.4	7772.3

Simulation 5 - Utilisation du climat de Nice, avec Qi, avec Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	263.0	272.0	534.8	984.0
Février	236.0	245.0	480.9	573.0
Mars	260.0	270.0	530.6	371.0
Avril	254.0	263.0	514.0	138.0
Mai	261.0	271.0	534.8	33.0
Juin	252.0	262.0	514.0	0.0
Juillet	263.0	272.0	533.1	0.0
Août	260.0	270.0	532.3	0.0
Septembre	252.0	262.0	514.0	0.0
Octobre	263.0	272.0	534.8	101.0
Novembre	252.0	262.0	514.0	352.0
Décembre	262.0	271.0	530.6	818.0
Total	3078.0	3192.0	6267.8	3370.0

Simulation 6 - Utilisation du climat de Nice, sans Qi, avec Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	0.0	0.0	0.0	1375.0
Février	0.0	0.0	0.0	893.0
Mars	0.0	0.0	0.0	677.0
Avril	0.0	0.0	0.0	359.0
Mai	0.0	0.0	0.0	114.0
Juin	0.0	0.0	0.0	6.0
Juillet	0.0	0.0	0.0	0.0
Août	0.0	0.0	0.0	0.0
Septembre	0.0	0.0	0.0	17.0
Octobre	0.0	0.0	0.0	273.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	646.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	1198.0
Total	0.0	0.0	0.0	5558.0

Simulation 7 - radiatif/convectif des appareils = 0.5/0.5 , avec Qi, avec Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	243.1	291.6	534.8	1561.4
Février	218.6	262.3	480.9	1242.3
Mars	241.1	289.5	530.6	1070.0
Avril	233.6	280.4	514.0	319.5
Mai	243.1	291.6	534.8	92.6
Juin	233.6	280.4	514.0	18.0
Juillet	242.3	290.8	533.1	3.8
Août	241.9	290.3	532.3	0.3
Septembre	233.6	280.4	514.0	31.5
Octobre	243.1	291.6	534.8	394.9
Novembre	233.6	280.4	514.0	1097.4
Décembre	241.1	289.5	530.6	1711.4
Total	2848.7	3419.0	6267.8	7543.4

Simulation 8 - Répartition uniforme des gains internes entre les zones selon les surfaces, avec Qi, avec Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	273.0	303.0	576.0	1843.0
Février	243.0	270.0	513.0	1530.0
Mars	266.0	296.0	562.0	1534.0
Avril	259.0	287.0	546.0	708.0
Mai	273.0	304.0	577.0	286.0
Juin	259.0	287.0	546.0	117.0
Juillet	268.0	297.0	565.0	41.0
Août	272.0	302.0	574.0	10.0
Septembre	259.0	287.0	546.0	152.0
Octobre	273.0	303.0	576.0	659.0
Novembre	259.0	287.0	546.0	1338.0
Décembre	266.0	296.0	562.0	1934.0
Total	3170.0	3519.0	6689.0	10152.0

ANNEXE IV.c.

Résultas des simulations pour le calcul de η_i

Résultats des simulations et du calcul du facteur de récupération des gains internes par les différentes méthodes pour la maison de référence dans le cas où la zone chauffée est divisée en 8:

Simulation 1 - 8 zones, sans Qi, sans Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	0.0	0.0	0.0	2192.0
Février	0.0	0.0	0.0	1851.0
Mars	0.0	0.0	0.0	1893.0
Avril	0.0	0.0	0.0	1090.0
Mai	0.0	0.0	0.0	633.0
Juin	0.0	0.0	0.0	404.0
Juillet	0.0	0.0	0.0	194.0
Août	0.0	0.0	0.0	120.0
Septembre	0.0	0.0	0.0	474.0
Octobre	0.0	0.0	0.0	1077.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	1711.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	2273.0
Total	0.0	0.0	0.0	13912.0

Simulation 2 - 8 zones avec Qi, sans Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Mois	convect.	radiat.	total gains	Chauffage
Janvier	263.0	272.0	535.0	1739.0
Février	236.0	245.0	481.0	1446.0
Mars	260.0	270.0	530.0	1448.0
Avril	252.0	262.0	514.0	683.0
Mai	263.0	272.0	535.0	296.0
Juin	252.0	262.0	514.0	137.0
Juillet	262.0	271.0	533.0	52.0
Août	261.0	271.0	532.0	16.0
Septembre	252.0	262.0	514.0	175.0
Octobre	263.0	272.0	535.0	651.0
Novembre	252.0	262.0	514.0	1279.0
Décembre	260.0	270.0	530.0	1820.0
Total	3076.0	3191.0	6267.0	9742.0

Calcul ηi par différentes méthodes pour la maison de référence divisée en 8 zones												
Mois	**Janvier**	**Février**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juillet**	**Août**	**Septembr**	**Octobre**	**Novembr**	**Décembre**
Qi (kWh)	517.9	465.4	516.4	499.7	519.2	498.4	517.9	516.6	499.2	519.2	498.4	516.2
QL (kWh)	2192.0	1851.0	1893.0	1090.0	633.0	404.0	194.0	120.0	474.0	1077.0	1711.0	2273.0
Qi/QL	0.2	0.3	0.3	0.5	0.8	1.2	2.7	4.3	1.1	0.5	0.3	0.2
Qs (kWh)	144.0	202.4	373.7	489.3	507.9	473.7	522.0	525.1	470.2	340.8	178.0	120.5
Qg (kWh)	661.9	667.8	890.1	989.0	1027.1	972.1	1039.9	1041.7	969.4	860.0	676.4	636.7
Qg/QL	0.3	0.4	0.5	0.9	1.6	2.4	5.4	8.7	2.0	0.8	0.4	0.3
ηi Barakat (graphe)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.74	0.40	0.25	0.90	1.00	1.00	1.00
ηi Yuill	0.95	0.95	0.95	0.95	0.85	0.68	0.38	0.25	0.80	0.95	0.95	0.95
ηi Barakat et Sander (formule)	1.00	1.00	1.00	0.98	0.91	0.76	0.37	0.23	0.83	0.98	1.00	1.00
Qh (kWh)	1739.0	1446.0	1448.0	683.0	296.0	137.0	52.0	16.0	175.0	651.0	1279.0	1820.0
θe (°C)	2.7	3.6	4.0	10.1	14.4	16.2	19.1	19.3	16.0	11.5	6.2	2.1
θc (°C)	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
H (W/K)	180.8	178.9	169.6	170.1	185.0	200.4	-2607.5	-537.6	219.4	193.0	185.7	180.8
nj (jours)	31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0
H*Nj(θc-θe)-QL	453.0	405.0	445.0	407.0	337.0	267.0	142.0	104.0	299.0	426.0	432.0	453.0
ηi (ESP)	0.87	0.87	0.86	0.81	0.65	0.54	0.27	0.20	0.60	0.82	0.87	0.88
C/H	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6
a	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
ηi (CEN)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.78	0.37	0.23	0.88	1.00	1.00	1.00
Modèle dynamique	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.80			0.88	0.98	0.98	0.98

Résultats des simulations et du calcul du facteur de récupération des gains internes pour la maison de référence dans le cas où la zone chauffée est divisée en 8 et 2 zones :

Simulation 3 - 2 zones, sans Qi, sans Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	0.0	0.0	0.0	2146.3
Février	0.0	0.0	0.0	1820.6
Mars	0.0	0.0	0.0	1857.9
Avril	0.0	0.0	0.0	995.4
Mai	0.0	0.0	0.0	488.8
Juin	0.0	0.0	0.0	224.6
Juillet	0.0	0.0	0.0	77.6
Août	0.0	0.0	0.0	20.9
Septembre	0.0	0.0	0.0	236.7
Octobre	0.0	0.0	0.0	866.5
Novembre	0.0	0.0	0.0	1565.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	2198.7
Total	0.0	0.0	0.0	12499.0

Simulation 4 - 2 zones, avec Qi, sans Qs				
Mois	**Qi convectif (kWh)**	**Qi radiatif (kWh)**	**Qi total (kWh)**	**Besoins en chauffage (kWh)**
Janvier	233.6	284.5	518.1	1683.4
Février	210.7	256.8	467.5	1405.2
Mars	233.0	284.2	517.2	1400.3
Avril	225.6	275.0	500.6	584.2
Mai	233.6	284.5	518.1	176.4
Juin	225.6	275.0	500.6	32.1
Juillet	233.3	284.4	517.7	2.5
Août	233.3	284.4	517.7	0.0
Septembre	225.6	277.0	502.6	31.4
Octobre	233.6	284.5	518.1	445.6
Novembre	225.6	277.0	502.6	1124.6
Décembre	233.0	284.2	517.2	1736.7
Total	2746.5	3351.5	6098.0	8622.4

Calcul de ηi par ESP pour 8 zones et 2 zones		
Mois	**ηi ESP (8 zones)**	**ηi ESP (2 zones)**
Janvier	0.87	0.89
Février	0.87	0.89
Mars	0.86	0.88
Avril	0.81	0.82
Mai	0.65	0.60
Juin	0.54	0.38
Juillet	0.27	0.15
Août	0.20	0.04
Septembre	0.60	0.41
Octobre	0.82	0.81
Novembre	0.87	0.88
Décembre	0.88	0.89

Résultats des simulations pour la maison de référence dans le cas où la zone chauffée est divisée en 2 zones pour les zones nuit et jour séparément et du calcul du facteur de récupération des gains internes à partir de la moyenne :

Résultats de la zone JOUR dans le cas où la partie chauffée est divisée ne deux zones: jour et nuit											
Mois	Qi convectif (kWh)	Qi radiatif (kWh)	Qi total (kWh)	Besoins en chauffage, avec Qi, sans Qs (kWh)	Besoins en chauffage, sans Qi, sans Qs (kWh)	ηi ESP	θi (°C) avec Qi, sans Qs	θi (°C) sans Qi, sans Qs	Qi/QL	ηi Barakat	ηi Yuill
Janvier	170.9	226	396.9	850.1	1183.5	0.84	19.07	19	0.34	0.99	0.95
Février	154.1	204	358.1	714.2	1012.7	0.83	19.85	19	0.35	0.99	0.95
Mars	170.3	225.7	396	707	1034.2	0.83	20.23	19	0.38	0.99	0.95
Avril	164.9	218.4	383.3	294.9	574.4	0.73	22.14	19.14	0.67	0.95	0.9
Mai	170.9	226	396.9	94.1	292.5	0.50	26.44	21.15	1.36	0.71	0.62
Juin	164.9	218.4	383.3	18.7	136.9	0.31	26.66	20.92	2.80	0.36	0.35
Juillet	170.6	225.9	396.5	1.7	45.7	0.11	29.89	23.7	8.68	0.12	0.04
Août	170.6	225.9	396.5	0	12.4	0.03	31.93	26.35	31.98	0.03	0.04
Septembre	164.9	218.4	383.3	15.7	132.8	0.31	27.22	21.7	2.89	0.35	0.35
Octobre	170.9	226	396.9	207.2	482.4	0.69	22.44	19	0.82	0.91	0.85
Novembre	164.9	218.4	383.3	541.3	853.9	0.82	20.62	19	0.45	0.98	0.95
Décembre	170.3	225.7	396	868	1200.2	0.84	19.45	19	0.33	0.99	0.95

Résultats de la zone NUIT dans le cas où la partie chauffée est divisée ne deux zones: jour et nuit											
Mois	Qi convectif (kWh)	Qi radiatif (kWh)	Qi total (kWh)	Besoins en chauffage, avec Qi, sans Qs (kWh)	Besoins en chauffage, sans Qi, sans Qs (kWh)	ηi ESP	θi (°C) avec Qi, sans Qs	θi (°C) sans Qi, sans Qs	Qi/QL	ηi Barakat	ηi Yuill
Janvier	62.7	58.5	121.2	833.3	962.8	1.07	19	19	0.13	1.00	0.95
Février	56.6	52.8	109.4	691	807.9	1.07	19.15	19	0.14	1.00	0.95
Mars	62.7	58.5	121.2	693.3	823.7	1.08	19.18	19.12	0.15	1.00	0.95
Avril	60.7	56.6	117.3	289.3	421	1.12	19.52	19.24	0.28	1.00	0.95
Mai	62.7	58.5	121.2	82.3	196.3	0.94	24.81	22.58	0.62	0.96	0.94
Juin	60.7	56.6	117.3	13.4	87.7	0.63	24.51	22.06	1.34	0.72	0.65
Juillet	62.7	58.5	121.2	0.8	31.9	0.26	27.88	24.85	3.80	0.26	0.30
Août	62.7	58.5	121.2	0	8.5	0.07	30.41	27.92	14.26	0.07	0.04
Septembre	60.7	58.6	119.3	15.7	103.9	0.74	25.56	22.61	1.15	0.79	0.75
Octobre	62.7	58.5	121.2	238.4	384.1	1.07	19.73	19	0.32	0.99	0.95
Novembre	60.7	58.6	119.3	583.3	711.1	1.07	19	19	0.17	1.00	0.95
Décembre	62.7	58.5	121.2	868.7	998.5	1.07	19	19	0.12	1.00	0.95

Résultats du calcul de ηi par différentes méthodes dans le cas où la zone chauffée est divisée en 2 zones				
Mois	ηi Moyenne ESP	ηi Moyenne Barakat	ηi Moyenne Yuill	ηi Total Barakat
Janvier	0.95	1.00	0.95	1.00
Février	0.95	1.00	0.95	1.00
Mars	0.95	0.99	0.95	1.00
Avril	0.93	0.97	0.93	0.98
Mai	0.72	0.83	0.78	0.83
Juin	0.47	0.54	0.50	0.45
Juillet	0.18	0.19	0.17	0.15
Août	0.05	0.05	0.04	0.04
Septembre	0.52	0.57	0.55	0.47
Octobre	0.88	0.95	0.90	0.96
Novembre	0.94	0.99	0.95	0.99
Décembre	0.95	1.00	0.95	1.00

ANNEXE V.a

Technical description of the monitoring equipment

Tinytalk temperature logger

Tinytalk is an ultra small, light weight, self contained data logger. It is available in a 35 mm plastic enclosure or in a metal box for tougher conditions. It can be supplied with a probe instead of an internal thermistor.

- various temperature ranges available
- non-volatile memory for 1800 readings
- very small water resistant case
- weight 30 g (35 mm enclosure), 100 g for metal box
- simple PC based launch, recover and plot software
- readings intervals from ½ s to 4.8 hours
- 2 years battery life from a ½ AAA size lithium battery
- wide operating temperature range of –40°C to 75°C

DIACE system

Specific plugs to measure active power consumption in Watt-hours, effective voltage averaged over 1 second an current power averaged over 10 seconds. Any electric appliance can be connected to it. Powerline carrier communication is used to handle data and store on a local Data collector.

- current power ± 5%
- nominal voltage 230 AC
- effective voltage ± 1 V, min 184 V AC, maxi 264 V AC
- current limit 16 A

Modified plug exists to measure instantaneous power (averaged over 10s) and active energy with an external clamp around one current powerline.

- Power range: 8 W to 7360 W (1 W resolution)
- Energy: resolution 1 Wh, maximum error ± 5% over the range

HOBO sensor

It consists in a no intrusive sensor of 60×46×19 mm and a weight of 29 g. it is battery operated with enough data storage capacity. The selected model is able to record temperature, humidity and light. The device must be programmed through a RS232 serial port of any computer, to establish the record frequency, number of channels and outputs units (°C, °F or V). The serial port must also be used to unload data record into a computer file.

- measurement range –20°C to +70°C
- accuracy 0.7°C (this is a minimum value; this value increase slightly as the working temperature differs from 20°C)
- resolution 0.4°C (this is a minimum value; this value increase slightly as the working temperature differs from 20°C)
- maximum operating relative humidity 95%
- record interval can be from 0.5 s to 9 hours
- changeable battery
- software capability to check the state of battery charge

EM600

It serves to measure:

- active power (with indication of min/max) in W (from 1 W to 4 kW)
- energy consumption in Wh/kWh/MWh (till 100 MWh)
- total time of measurement
- time of use in mn/h with indication of min/max
- cost

Measurement	Resolution
Tension 200 V –250 V	1 V
Time 0:00 mn – 59:59 mn 1:00 h – 99:59 h 100 h – 9999 h 10.00 kh – 65.35 kh	 1 s 1 mn 1 h 10 h
Active power 0.0 W – 999.9 W 1000 W – 4000 W	 0.1 W 1 W
Active energy 0.0 Wh – 9.999 Wh 10.00 Wh – 99.99 Wh 100.0 Wh – 999.9 Wh 1.000 kWh – 9.999 kWh 10.00 kWh – 99.99 kWh 100.0 kWh – 999.9 kWh 1.000 MWh – 9.999 MWh 10.00 MWh – 99.99 MWh	 1 mWh 10 mWh 100 mWh 1 Wh 10 Wh 100 Wh 1 kWh 10 kWh

EM800

It serves to measure:

- active power (with indication of min/max) in W (from 1 W to 4 kW)
- apparent power (with indication of min/max) in VA
- reactive power (with indication of min/max) in var
- average active power (energy consumption divided by the time of measurement) in W
- intensity (with indication of min/max) in A
- tension (with indication of min/max) in V
- cos ϕ (with indication of min/max)
- frequency (with indication of min/max) in Hz
- energy consumption in Wh/kWh/MWh (till 100 MWh)
- total time of measurement
- percentage of time of use and time of measurement
- time of use in mn/h with indication of min/max
- cost

ANNEXE V.b.

Guide d’utilisation de EC-Pro

USER’S GUIDE

1. Presentation of EC-Pro

1.1. Objectives of the program

The tool provides a simplified assessment of the energy needed in single family houses for space heating (SH), domestic hot water (DHW) and household.
The tool is designed to be run with data bases for envelope fabrics, system components, appliances, etc.

1.2. Normative references

- The calculation is based on the "European Standard" CEN (prEN832).
- The calculation of the ground loss is based on 'prEN ISO 13370:1998'
- The materials' properties are taken from : the French regulation 'Th-K77' and the ESP- manual (Energy Simulation Program).
- The calculation of energy loss from the heating system comes from the normative works by CEN, the French ThC standard and the Danish method.

The calculation method is based on a steady state energy balance, taking account implicitly of internal and external temperatures variations and, through an utilisation factor, of the dynamic effect of internal and solar gains.

The **single zone** calculation is applied. The details of the method are given in the preliminary considerations.

1.3. Applications

It can be used for the following applications:
- Labelling the standard consumption of a building,
- Comparing 'standard' and 'real' consumption (evaluated through a questionnaire and some measurements) in order to evaluate the effect of the occupants' behaviour on the internal gains, the heating temperature, etc,
- Proposing energy conservation opportunities,
- Assessing the effect of possible energy conservation measures.

For the calculation period, the tool will calculate:
- The heat loss of the heated zone, based on the assumption of a constant internal temperature
- The internal and solar gains,
- The utilisation factor for gains,
- The net heat requirements,
- The gross heat loss from heating and hot water systems,
- The gross energy consumption for standard and actual conditions,
- The energy conservation options

1.4. The energy model

The tool evaluates monthly heating loads taking into account several parameters and variables such as:
- Outdoor climate on a monthly base (air temperature, solar radiation);
- Geometrical properties of the enclosure (orientation and size);
- Thermophysical properties of walls, windows, glazing, basements, thermal bridges;
- Internal free casual gains from occupants, electrical and thermal appliances, lighting; [3]

1.5. Structure of the program

The tool must be run under Microsoft Excel.
It is principally composed of:
- a visual basic code
- excel sheets for the calculation
- graphical and tabular results
- it is run together with a library workbook containing the common data for fabrics, systems, climate and supply companies for 4 countries (France, Denmark, Spain and Lebanon).

2. Contents of the software

The objective is to provide a convivial tool for the user by using:
- Simple screens with colours and schemes
- Default values
- List of data
- Help
- Summary of the input data

The EC-Pro tool execution includes:
a) Data input : general data about the project, detailed or simplified data about the fabrics' and systems' description.
b) Three calculations (standard consumption, actual consumption and energy conservation options)
c) Saving data under an Excel workbook

2.1. Procedure

The input procedure for the building under consideration is as follows:
- General data
- Building data
- Heating & DHW system
- Calculation (standard, actual or ECOs' calculation)

Save & end

3. Preliminary considerations

3.1. Application field

The tool provides a single zone calculation. This calculation can be applied when:
- the building is heated to the same temperature throughout, and when internal and solar gains are relatively small or rather evenly distributed throughout the building,
- internal set-point temperature of the zones differ by less than 4 K,
- it is expected that the gain/loss ratio differ by less than 0.4 (e.g. between south and north ones)
- doors between zones are likely to be open, or
- one zone is small and it can be reasonably expected than the total energy requirement of the building will not change by more than 5% by merging it to the heated space

Even if the set-point temperature is not uniform, the single zone calculation is applied. It is then necessary to calculate an equivalent temperature from the local measurement θ_{iz} according to the representative volume V_z, so that mean indoor temperature θ_i of the house is: [4]

$$\theta_i = \frac{\sum_z V_z \theta_{iz}}{\sum_z V_z}$$

where

θ_{iz} the internal set-point temperature of zone z

V_z the volume of zone z

3.2. Description of the building

3.2.1. Division of the building into thermal zones

The building is composed from a heated zone and some eventual unheated zones.

Definition : An unheated zone is a room that do not need any heating system because it is normally unoccupied, or activities do not require high level of comfort (garage, attic, basement, cellar, etc).
The boundaries of the heated zone consist of the external walls and glazing, the floor, the ceiling and the partition walls separating the heated volume from the unheated spaces.

Only one heated zone is defined in a building.

3.2.2. Building dimensions

The physical dimensions of the building construction should be consistent throughout the calculation. In the tool, we use internal dimensions.

Internal dimensions: internal lengths, areas and volumes measured from wall to wall and floor to ceiling in each room.
Thus floor dimensions are obtained by measuring between the inner surfaces of the external or party walls, disregarding the presence of ant internal walls.

The area of the glazing is the total area of the opening, including the frame.
The area of the envelop walls is the net total area of walls after substracting the area of windows and doors.

In some countries like France, inhabitant area may be different from the floor area.

3.2.3. Volume

The volume is defined as the net volume (volume of the air inside the building).

3.2.4. Air change

For comfort and hygienic reasons a minimum ventilation rate is needed when a building is occupied. This minimum ventilation rate should be determined on a national basis, taking account of the building type and the pattern of occupancy for the building. [1]
When no national information is available, the recommended value for dwellings is : 0.5 h^{-1}.

3.2.5.Orientation

The orientation of an element is measured by the geographic orientation of the perpendicular at this element.
e.g.: 0= south, 180=north, 90= east, -90=west

3.2.6. Thermal bridges

Effects of thermal bridges shall be included for structures when they are present.
A thermal bridge is any local change of the thermal transmittance of the envelop. In principle, thermal bridges shall be taken into account in the calculation as specific transmission heat loss.

In the tool the possibility is offered to specify an additive percentage loss p to the thermal transmittance of any opaque element: U_0 then $U=U_0(1+p)$

3.2.7. Thermal capacity

The effective thermal capacity of the heated volume is basically the heat stored in the heated volume when the internal temperature varies sinusoidally by ±1 K within a given period of time.
This can be calculated by summing the effective thermal capacities of all internal building elements in direct thermal contact with the internal air zone under consideration.
For the calculation, we use the effective thickness. The effective thickness of one side of an element is the minimum value of the following:

- half the total thickness of the element;
- the thickness of materials between the surface of interest and the first thermal insulating layer;
- a maximum effective thickness depending on the period of the variations (10 cm in our case).

The thermal capacity of an element completely contained in the heated space is calculated as the sum of the thermal capacities calculated from both surfaces of the element. [1]

In the tool, you can either choose the inertia of the building (the tool will fill a default thermal capacity) either write your own value.

3.2.8. Heat losses

Losses or gains through party walls to spaces in other dwellings or premises that are normally expected to be heated are assumed to be zero.

3.2.9. Input precision and rounding

Data should be entered as accurately as possible, although it is unnecessary to go beyond three significant figures (and some product data may only be available to lesser precision). For manual calculations, intermediate calculations should be rounded to at least two decimal places: calculation results should be rounded down if they end in 1 to 4, otherwise they should be rounded up.

3.2.9. Cost

The cost of improvements is given in Euros.

3.2.10. Dwellings with more than on heating system

In this case, you have to identify the main heating system. It is the one which heats the largest proportion of the dwelling.

3.2.11. Solar transmittance factor

Definitions

- **g-value:** represents the solar energy transmittance of the glazing. It is the time-averaged ratio of energy passing through the not-shaded element to that incident upon it.
- **Frame factor**: reduction factor taking into account the frames of transparent surfaces, equal to the ratio of the transparent area to the total area of the glazing unit (wood: 0.7, PVC:0.8, metal:0.8).

3.2.12. Shading factors

the shading factor, s, which is in the range 0 to 1, represents any reduction in incident solar radiation due to permanent shading of surface concerned resulting from any of the following factors: [1]

- Shading from other buildings
- Shading by topography (hills, trees, etc)
- Overhangs
- Shading by other elements of the same building
- Position of window relative to outer surface of the external wall.

In EC-Pro, the shading factor is equal to 1 by default, but you have the possibility to write your own value for special cases.

In order to simplify the input in the tool, we use a simplified table dependent on how much the view of the sky through the windows is blocked. Generally, this differs on each side of the building, and a representative average should be used. [7]

% sky blocked by obstacles	Shading factor
> 80	0.4
60-80	0.7
20-60	1.0

Table 1: Value of shading factor

3.3. Climate

The climatic data set is given by TRY (or other sources for various locations).
It is written as an excel table which contains monthly averages of:

- external temperatures,
- total solar radiation per unit area for south, north, east, west and horizontal orientation

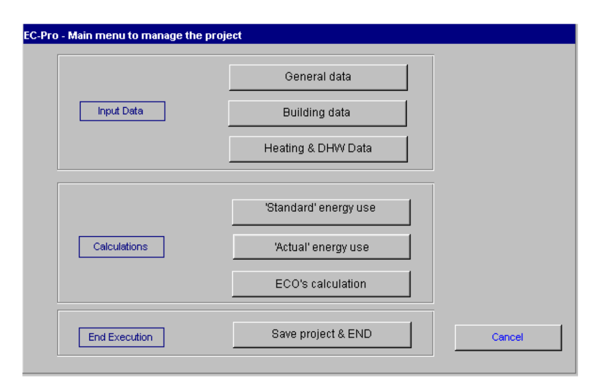


Fig. a : Main screen for the input data

Calculation of the solar radiation
The global vertical radiation is constant in a sector of 45°. For the four intermediate sectors between the principal ones, the global vertical radiation is equal to the geometric average of the two values of the adjacent sectors. For example, the global vertical radiation South - East is equal: GSW= $(GS.GW)^{1/2}$ [2]

3.4. "Walls_lib" file description

Walls_lib.xls contains all the data bases of EC-Pro for :

- Building components (ceiling, partition, glazing, vertical wall, floor)
- Climatic data
- Utilities
- SH & DHW system component

The data is available in the chosen lists of EC-Pro.

If you want to add some data in this library, click **Data bases** in the introduction screen of EC-Pro. The main menu of the library will appear.

Click the button corresponding to the data you want to add. A sheet gives you the data table.

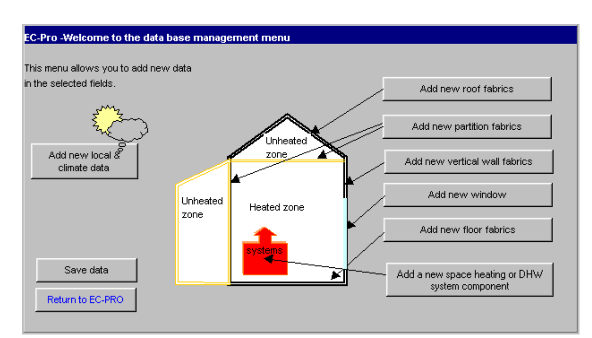


Fig. b: Main screen of 'walls_lib'

- For building components (except for glazing), give:

U_value , ρce, location of insulation, % of thermal bridges, suggested eco, U_eco, ρce_eco, % of thermal bridges_eco and the cost_eco (Euro/m²).
For glazing, give:
U_value day, U_value day & night, number of floats, g-value, frame factor, suggested eco, U_eco, g_eco, frame_eco, cost_eco (Euro/m²).

- For location, give the utilities or climatic data.

The library contains online definitions of the needed values.

You can calculate your U_value by clicking **Calulate U_value** which permits you to ease this task. Choose your type of wall and complete the needed data.

Note: big care must be taken when adding data. An error can lead to problems in the calculation after.

4. Installation

CEN tool is programmed in Microsoft Excel.

- Put the disc in the disc drive
- Open the explorer
- Copy the "EC-Pro.xls" and "walls_lib.xls" into a directory (where your results or examples will be stored)

5. Program description

5.1. Introduction screen

In the "introduction screen", you have:
About EC-Pro: gives you some explanations about the procedure, the outputs and the applications.
Data Bases: it opens the library containing the data bases. This is a read only option. A password is needed in order to add some data.
OPEN existing project: This command permits to open a project (saved before) and to use it again. This is useful especially when you want to change some inputs for an existing project, and to see the results of your modifications.
When you open a file, the tool will transfer the input data and the calculation to the current file.
Note: when you change the data of a project file, don't forget to change its name before saving it again.
CREATE new project : this command is used when you start the input from scratch. It is used when creating a new building. Any user data in the tool will be erased.

5.2. Start screen

This is the basic screen for the input data. It is the main screen of the program, you will return to it automatically after each definition step.

- Three main stages must be taken into account in order to provide the data needed to launch a calculation:
  General data
  Building data
  Heating & DHW system

By choosing a type, you start the input. When entering a new building, you have to fill all this data.

- EC-Pro provides three types of calculation of the energy use:
  'Standard' energy use
  'Actual' energy use
  ECO's calculation

- The end execution contains:

END project: this command will save your project (entered data) in an excel file and so give you the possibility to use it again (by the OPEN option).

5.3. General data

In this section, the user has to give some information concerning:
- The house : reference name, country, address, built & refurbishment year, type of dwelling. The energy bill: supply companies: electrical and fuel supply company and the cost (fixed cost + variable cost in Euros per kWh)
- Billing: for the three principal fuel used in the house, choose the type and give the quantity and the cost.

The choice of a country will define the set of climatic data, first one in the list will be the standard location.

By clicking **End definition**, you can first save your data in an user defined sheet before continuing your input.

5.4. BUILDING DATA

It deals with the description of the building (zones, elements, components, properties).

a. List of zones

By default, there is one heated zone (a single zone program).
You can have until 3 unheated zones (in contact with the heated zone).

Each space is composed of different elements which can be:
- Elements to outside (walls, glazing, roof, floor to outside)
- Partition (elements of the heated zone in contact with an unheated space: walls, ceiling to attic, floor to basement, glazing)
- Elements to the ground

Specify these elements for the zone before starting the input.

If your house has a simple shape, use **Simplified building data** (not available).If not, use **Detailed building data.**
In the simplified definition, you need to specify for the building:
- Shape, type of architecture and external dimensions
- Fabrics (walls and glazing)

The tool will calculate all the needed dimensions (areas of windows, ceiling, walls,…). This option cannot be used now.

Detailed building data: The name of the current zone is shown on your main input

screen called 'EC-Pro –Definition of zone fabrics and geometry'

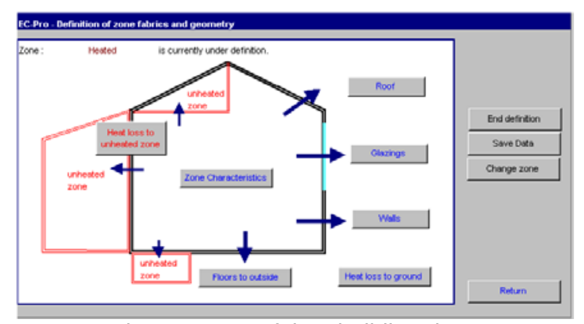


Fig.c: Screen of the 'building data'

b. Define zone fabrics and geometry

End definition: copies the entered data to the user data sheet and the calculation.
Save data: saves the entered building data in an excel file.
Change zone: permits to return to the screen 'change zone' in order to change the zone under definition.



Fig.d: screen of the glazing data

b.1. Elements to outside

b.1.1. Zone characteristics
For the chosen zone, give:

- The overall space area (m²)
- The volume (m^3)
- The air change rate to exterior ($vol.h^{-1}$). If you don't know the air change rate, you can calculate by clicking **calculate ach.** You have to specify the building tightness, the shielding class (given list) and the ventilation system.
- The total area of exposed internal walls (m²)
- The effective thermal capacity of the internal walls ($MJ.K^{-1}.m^{-2}$) or the class of inertia (light, medium or heavy fabrics)

b.1.2. Common commands for walls, glazing, roof and floor to outside

Copy last: repeat the last definition

In the given list of types, you have the possibility to add your own elements (by clicking on **user defined** in the list of types).
Apply definition: validation of the input data and copy in a table below to edit it.
Edit --- definition: permits to see the entered data in the table You can also change any value written in this table.
For ECO's values in the table, if you put 0 or nothing in the U_eco, the tool will select automatically an improved value for the ECO calculation. If you write a value, the tool will use the entered value for the ECO calculation.
End definition: copy the data from the table to the calculation sheet
Delete one ----: permits to delete a wall,… from the table. This option makes easier the correction.

b.1.3. Glazing

Click on **Glazing.**

- Give a reference name for the new glazed surface
- Choose the type of glazing from the library or select "user defined" if you cannot find the exact type (see b.1.5)
- The tool fills automatically the u-value, the g-factor and the frame factor. You can modify these values.
- Give the slope & azimuth (You can have 8 orientations for your glazing : S, N, E, W, SE, SW, NE, NW).
- Give the area of the glazed surface (m²)
- Modify the shading correction factor if applicable.

b.1.4. Walls, roof, floor to outside

Click Walls/ Roof/ Floor to outside

- Give a reference name for the new component
- from the given list, choose a type of walls or "user defined" (see b.1.5). The tool selects from the library the u-value, the thickness and the location of the insulation (when it exists), the thermal capacity and the % of thermal bridge
- If necessary, modify the insulation thickness & location, additional loss percentage because of thermal bridge and thermal bridge (if necessary)The tool will directly calculate the correspondent u-value
- Give the
- Give the total area of the internal walls

- give the total wall area (m²) (excluding glazed areas)

Same goes for **Roof** and **Floor to outside**.


Fig.e: the screen of 'walls'

b.1.5. User defined components

In the given list, you can add your own components by clicking "user defined".
A sheet is opened (e.g.: sheet 'walls_add' for walls). In this sheet, you have to fill some data concerning the added component:

- Number
- Description
- Thickness of insulation (m)
- Insulation conductivity (W/mk)
- Location of insulation
  (1=exterior, 2=interior, 3= distributed)
- U-value (W/m²k)
- ρce (MJ/m²°C)
- Component thickness (m)
- Thermal bridge %
- Suggested Eco
- U-value (eco)
- Thermal bridge with eco %
- ρce with eco
- Cost (euro/m²)

These elements will be saved with the project.

c. Elements to the ground

When the space contains elements to the ground.
The tool calculates the U-value (pr EN ISO 13370:1998) for non isolated or uniformly isolated floor.
(This option is only applicable for floor to ground. If you have other elements to the ground (e.g. walls), you have to use the average area and u-value).
For other cases, you can write your calculated U-value in the appropriate place together with area in contact with ground.

Heat loss to ground:

- choose the type of the ground. The tool gives the conductivity of the chosen ground in the edit box 'conductivity'. When the conductivity of the ground is different, you can write your own value. When the type of the ground is not defined, take the value 2 $W.m^{-1}K^{-1}$.
- give the value of the floor in contact with the ground
- give the half perimeter on ground (m) (the definition of the 'half perimeter on ground' is given by a comment).
- choose the resistance of floor in contact with ground ($m^2K.W^{-1}$)
- Give the thickness of the ground level vertical wall

d. Heat loss to unheated zone

Note: the partition is a part of the heated space in contact with an unheated zone. It is a junction between the heated and the unheated space and can be opaque or transparent (wall, door, etc).

When choosing **Heat loss to unheated zone**, the screen 'change zone' appears.
Zone number: this command permits to define the number and the names of the unheated spaces.
Choose your current unheated zone by clicking on one option button and choose **Validation** to accept the correspondent data.

The screen of the unheated data will appear.

- Give the reference name for the new component
- Give the area (m²)
- Give the type of component (opaque or transparent)

For opaque partitions:

- Choose the component from the given list. The tool will fill the u-value, % of thermal bridge and thermal capacity
- Give the % of heat loss because of thermal bridge
- Give the heat capacity and the slope (vertical, horizontal ceiling, horizontal floor)
- Validate your input data with **Apply definition**

For transparent partitions:

- Choose the description from the given list.
- The tool will fill the u-value, the g-factor and the frame factor.
- Give the slope and the orientation
- **Apply definition**

A **Mandatory definition** of the corresponding unheated zone is needed before leaving the screen.

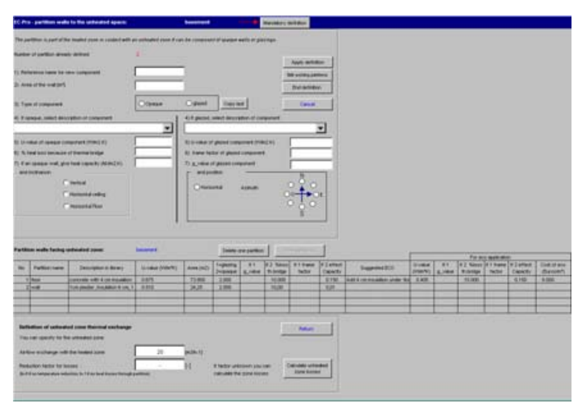


Fig.f: the screen of partition definition

You have to specify:

- The airflow exchange (vol.h^{-1})
- The reduction factor b for losses

If the reduction factor is unknown, you can calculate the zone losses by choosing **Calculate zone losses**.

This option requires to define the fabrics and the geometry of the unheated zone (the same way as for the heated zone).

For actual consumption, this factor can be calculated from the difference between the average internal temperature and the temperature of the considered unheated zone.

5.5. HEATING & DHW SYSTEM

After entering the building data, click on **Heating & DHW system** from the main menu.

5.5.1. Description of the heating system

- Choose the type of the heating system (central, independent units, combined)
- Choose the heat generation from the given list. The tool fills the instantaneous efficiency for the chosen type. You can also write your value for more accuracy (e.g.:if there was a measurement)
- For a boiler, give its description :
  the nominal power, radiant & convective losses (that is stand-by losses). And if there is a pilot flame, the power of the flame and the recovering factor (default = 0.6)
- Give the location of the heating system generator
- For central heating, specify the distribution:
  Select the fluid
  Give the location, the insulation, the length and the diameter of the pipes plus the average temperature in the pipes.

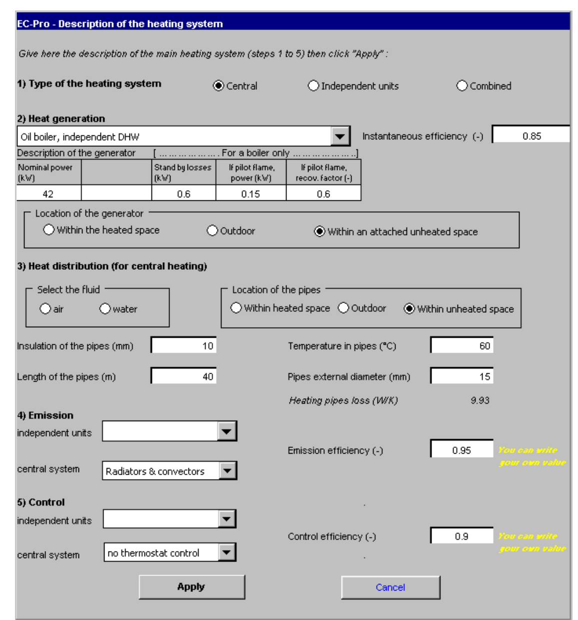


Fig.g: screen of heating system description

- Specify the emission type (given lists for central system or independent units). The tool fills the default emission efficiency that you can change if desired
- Specify the control type. The tool selects a control efficiency that you are able to change

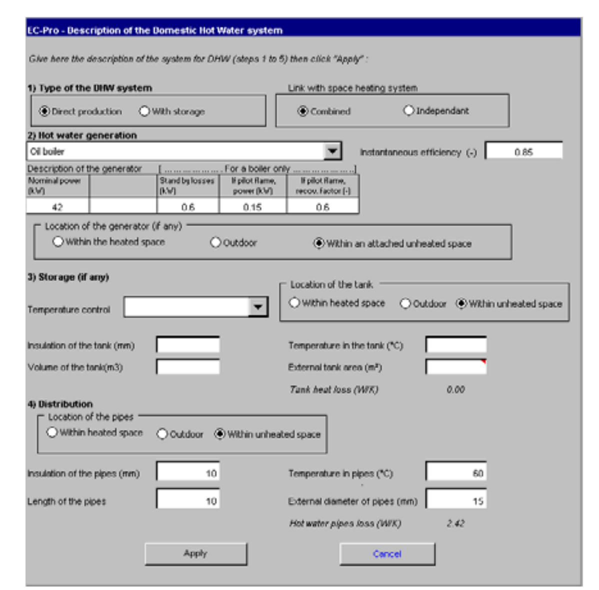


Fig.h: screen of DHW system description

Click on **Apply** , the tool will transfer system description to the calculation sheets, and will derive the efficiency of the heating system. You have the possibility to save your input data at this time.

At the end, the DHW description sheets is opened.

5.5.2. Description of Domestic hot water system

- Choose the type of the DHW system
  - direct production or with storage,
  - combined with the heating system or independent
- Choose the hot water generation from the given list. The tool fills directly the instantaneous efficiency, that you are allowed to change.
- For a boiler, give its description (same as for heating system).
- Describe the tank (if DHW produced with storage):
  - Temperature control (given list)
  - Location, insulation, volume, external area of the tank plus the temperature in the tank.
- Specify the distribution:
- Give the location, the insulation, the length and the diameter of the pipes plus the temperature in the pipes.

Click on **Apply** , the tool will transfer system description to the calculation sheets, and will derive the efficiency of the DHW system. You have the possibility to save your input data at this time.

5.6. Type of calculation

When have finished to key all the required input data, return to the main menu.
Two types of calculation are available:
When you choose '**Standard energy use**', the tool will automatically takes the standard conditions (cf 5.1.).

When you choose '**Actual energy use**', you must key or transfer from the questionnaire and the monitoring the values of casual gains, set-point temperature and DHW needs.(cf 8)

5.6.1. Results

Results are given as a set of tables and graphs.
Each table contains (either in kWh or MJ):

- Length of the heating season
- Energy needs for heating
- Heating needs for DHW
- Calculated solar gains
- Casual gains
- Envelope heat losses plus percentage of losses (through glazing, vertical walls, horizontal surfaces/outside, ventilation and unheated spaces)
- Best efficiency of the heat generation
- Gross SH energy consumption
- Gross DHW energy consumption
- DHW pipes losses
- DHW tank losses

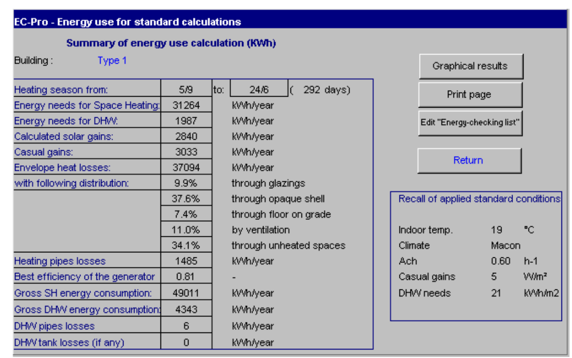


Fig.i: Example screen of results
(standard consumption in MJ)

Five graphic results are available: **Gain/loss**, **temperatures**, **% of loss**, **loss** and **heat requirements-useful gains**.

5.7. ECOs' calculation

ECO's calculation: gives you the list of the possible improvements and permits to apply them.

- The 'improvements' screen gives you a list of the calculated improvements (chosen on a basis of some standard values) for single components of the house (envelope, systems)
- The tool calculates the actual energy savings for each improvement (relative to the initial actual consumption for heating)
- You can change the proposed replacement values (U-values, insulation thickness, set-point temperature, efficiency of system components) and the associated costs.
- Select the applicable improvements (option cases)
- Click **Apply**, the tool will recalculate the cumulative savings for standard and actual consumption, starting with the envelope measures and after the systems (heating system only). These values are given in the ECOs' screen.

5.8. Common Buttons

Return: permits to return to the previous screens.
End definition : validates the keyed data
Cancel: cancels the input and return to the previous screen.

6. Electronic questionnaire

6.1. Introduction

The electronic questionnaire allows to collect information about household pattern and equipment in an easy way thanks to pre-set values and data bases. Recorded data from the monitoring if available can be directly keyed in. It helps to compare and to complete the information gathered from the occupants to the recorded data (e.g.: power of equipment, time of use,…) and to provide the average set-point temperature.

6.2. Contents of the questionnaire

The questionnaire to the occupants includes:

- A set of listed data to ease data input :
  - scenarios of occupation and the household equipment
  - type of appliances
  - type of lighting equipment
  - Use of DHW

- Various algorithms to calculate:
- electricity consumption for appliances, lighting and heating needs for DHW
- casual gains from: occupants, appliances and lighting
- DHW needs

6.3. Data collection

The data collection is based on a weekly pattern.

6.3.1. Occupants' behaviour

2. Occupancy of the house — Number of persons = 0 (limited to 10)

2.1 Try to estimate how much **time (in hours)** each occupant is at home:

Occupant	Pattern	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	Season factor	Total week	Heat (W)
	▼									0	
	▼									0	

Fig.i: Example table of input for occupancy

1. **Identification**: write information about the house (family name, house reference, address and country) and the date of survey.

2. **Occupancy of the house**: Give the number of persons living in the house. Specify the presence of each occupant during the week.

   - Give the number of unoccupied weeks per year (for the whole family).

2. **Domestic hot water**:
   - Give the number of litres used to wash dishes (for breakfast, lunch and dinner).
   - For each occupant, estimate the used hot water for toilets.
   - Estimate the amount of hot water for other uses (clothes washing, housekeeping, etc).

3. **Lighting**:
   - Enter the different rooms of the house. For each room, give the time (hours) the lights are switched on.

5. **Leisure equipment** (TV, hi-fi, video, computer, etc):
   - Enter the different leisure equipment. For each equipment, give the duration of use (hours per day).

6. **Domestic appliances** (freezer, fridge, oven, washing machine, dryer, dish washer, etc):
   - same as for leisure equipment.

6.3.2. Equipment description

Lighting equipment:

- For each lighting equipment, give the power (watts) of the lamps that are used preferably and an estimated ratio (percentage) of time for each used lamp (sum can be more than 100%). In pattern, we ask for the switching duration of lighting for each room. In this section, we have to estimate for each lamp the ratio of use referring to the time given.
  Ratio = duration of use of the lamp / time of lighting of the room

Leisure equipment:

- If consumption is not recorded, give the nominal power (watts) when the equipment is ON, when it is in stand-by mode, and the daily use (hours) and the duration of the stand-by mode.

Domestic appliances:

- If not recorded, give the nominal consumed energy (kWh) for main programs and ratio of use (sum =100)

Domestic appliances

If not recorded, give the nominal consumed **energy (kWh)** for mains programs and ratio of use.

		Energy consumption for main programs (kWh)				Ratio of use (percent) for each program				Age (years)	Heat gains for main programs (%)			
	Type	n°1	n°2	n°3	n°4	n°1	n°2	n°3	n°4	(0 if no corr.)	n°1	n°2	n°3	n°4
DW		1.9				100.0					25.0			
Freeze		1.0									100.0			

Fig j: Example table for domestic equipment

6.4. Results

Outputs are:

- household electricity consumption (weekly calculation in Wh and yearly calculation in kWh) for lighting, leisure and domestic equipment.

- casual gains (weekly calculation in J and yearly calculation in MJ) from lighting, leisure and domestic equipment, domestic hot water and the metabolism from occupants.

- A summary of outputs is given in 'Results' sheet:

- Electricity consumption (weekly and yearly consumption in kWh) and casual gains (weekly and yearly consumption in MJ) recorded/measured consumption (in Wh and the % of discrepancy with calculation).

- A table of the data to be keyed in the "actual data" sheet of the EC-Pro tool:
Monthly calculation of casual gains (in MJ) and annual DHW needs (in MJ/year).

SUMMARY OF OUTPUTS ABOUT THE OCCUPANT BEHAVIOUR

Save workbook

About electricity consumption:	(weekly statistics)		Weekly cons. [kWh]	Yearly cons. [kWh]	Percentage of total
Hot water power	[W]	Electricity	[kWh]	0.0 [kWh]	0.0%
Total lighting power	1581 [W]	Electricity	28.4 [kWh]	1161.1 [kWh]	33.7%
Total leisure equipment power	284.7 [W]	Electricity	9.3 [kWh]	543.8 [kWh]	15.8%
Mean consumption of domestic appliances	0.5638 [kWh]	Electricity	33.9 [kWh]	1743.3 [kWh]	50.6%
The total consumed electricity for DHW, lighting and appliances is		for a week:	71.6 [kWh] and yearly	3448.3 [kWh]	100.0%

About casual gains	(weekly statistics)		Weekly heat gains [MJ]	Yearly heat gains [MJ]	Percentage of total
Nb of occupants	5 [persons]	Heat gains	223.2 [MJ]	10715.3 [MJ]	48.7%
Domestic hot water	1105 [liters]	Heat gains	*calculated in EC_PRO tool*	*calculated in EC_PRO tool*	
Lighting	177 [hours]	Heat gains	105.4 [MJ]	4313.4 [MJ]	19.6%
Leisure equipment	6 [pieces]	Heat gains	73.9 [MJ]	3546.7 [MJ]	16.1%
Domestic appliances	10 [pieces]	Heat gains	71.0 [MJ]	3409.0 [MJ]	15.5%
Total heat gains from occupants, DHW, lighting and appliances are		for a week:	473.6 [MJ] and yearly:	21984.4 [MJ]	100.0%

About recorded consumption:	(weekly statistics)		Weekly consumption [kWh]	Percentage of calculated cons.
Hot water power	[W]	Electricity	0.0 [kWh]	
Total lighting power	0 [W]	Electricity	0.0 [kWh]	
Total leisure equipment power	0 [W]	Electricity	8.0 [kWh]	0.858189374
Mean consumption of domestic appliances	0 [kWh]	Electricity	28.1 [kWh]	0.829250317
The total recorded electricity for DHW, lighting and appliances is		for a week:	36.1 [kWh]	50.5%

Data to export to EC-PRO tool

Monthly casual gains [MJ]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Lighting	467	395	398	347	329	308	180	196	385	438	452	478	4373
Leisure equipment	327	296	327	317	327	317	179	179	317	327	317	327	3557
Domestic appliances	315	284	315	304	315	304	172	172	304	315	304	315	3419
Metabolism from occupants	989	893	989	957	989	957	542	542	957	989	957	989	10747
TOTAL	2097	1868	2028	1924	1959	1886	1075	1090	1963	2068	2030	2108	22097

Annual DHW needs	1654.1653 kWh/year

Fig.k: Example screen for results

REFERENCES

[1]European Standard, prEN 832, *Thermal performance of buildings – calculation of energy use for heating – residential buildings* , August 1993

[2] LESOSAI 4, *Calcul du bilan thermique d'une construction LESO - CEN prEN832 – SIA 380/1 et SIA/180/1*, Institut technique du bâtiment – ITB/DA, Version 1, avril 1996

[3] Stefano C., De Giorgio G., Mazzarella L., Zabot S., *Building energy labeling:an operative procedure developed in lombardia*, European conference on energy performance & indoor climate in buildings, Nov. 94, Lyon , France

[4] SAVE contract N° SA/83/94F, final report, *Single family houses in Europe: A contribution tool towards energy labelling,* January 1997.

ANNEXE VI.a

Données et résultats du calcul pour les logements étudiés

Consommations calculées pour les logements en Europe :

Maison/Localité	Consommation standard (kWh/m²)	Consommation réelle (kWh/m²)
1/ Danemark	191.8	170.3 36.9 élect.
2/ Danemark	128.8	119.6 54.2 élect.
3/ Danemark	215	214.9 33.9 élect.
4/ Danemark	133.9	149.2 16.9 élect.
5/ France, Lyon	170.1	108.4 22.7 élect.
6/ France, Lyon	309.9	242.5 18.7 élect.
7/ France, Lyon	286.9	215 27.3 élect.
8/ France, Nice	188.8	114.4 11.6 élect.
9/ France, Nice	407.2	255.2 16.8 élect.
10/ France, Nice	212.4	120.3 31.1 élect.
11/ Espagne, Ségovie	144.8	113.8 22.9 élect.
12/ Espagne, Ségovie	418.5	373.8 28 élect.
13/ Espagne, Madrid	90	63.1 56.1 élect.
14/ Espagne, Madrid	183.3	125.8 34.3 élect.

Logement 1:

Données du calcul

ENVELOPPE	Description	Méthode	U-value (W/m²K)	Surface (m²)	Autres données
Murs extérieurs (RDC)	1.5cm ciment + Blocs creux 20cm + 10 cm pierre	Observation et information donnée par les occupants	2.26	105.6	ρce=0.41
Murs extérieurs (1er étage)	1.5cm ciment + Blocs creux 10cm + 5cm air + 15cm blocs creux + 8cm pierre	Observation et information donnée par les occupants	1.54	45.7	ρce=0.43
Murs intérieurs	Blocs creux de 10cm +3cm ciment	Observation et information donnée par les occupants	3.27	161.24	ρce=0.14
Vitrage	Vitrage simple 4 mm – cadre aluminium	Observation et information donnée par les occupants		NO :5.05 SO :5.43 SE :13.93	gvalue=0.85 frame factor=0.8
Plancher	Sur terre pleine – non isolé	information donnée par les occupants		121.44	Béton +terrazo
Toiture	Toiture terrasse non isolée	information donnée par les occupants	3.53	59.4	Hourdis 20cm +béton + ciment
Ventilation	0.6 h^{-1}	observation			Vol = 524.4 m^3

SYSTEMES	Description	Méthode	Puissance	Efficacité	Autres données
Chauffage	Chaudière à mazout Marque SIME type 622	Observation	21 kW	0.8	Chaudière placée à l'extérieur L conduites=10 m
Eau chaude sanitaire	Chaudière à mazout	Observation	53 kW	0.78	Isolation du ballon = 30 mm Vol=400 l
Tuyaux d'eau chaude	à l'intérieur de la maison	Observation et information donnée par les occupants			Longueur= 28m

APPAREILS	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de l'utilisation	Méthode
Réfrigérateur 1	Combiné, 15 ans	Mesures	10.5	24h/24	
Réfrigérateur 2	5 ans	Mesures	6.3	24h/24	
Lave-linge	Charge frontale, 10 ans	Mesures	1.44	4 fois/semaine (30° et 60°)	Questionnaire
Sèche-linge	5 ans	Mesures	6.2	4 fois/semaine	Questionnaire
Lave-vaisselle	4 ans	Mesures	24	4 fois/semaine	Questionnaire
Aspirateur	3 ans, traîneau	Mesures	0.2	2 fois/semaine	Questionnaire
Fer à repasser	2 ans –1600W	Mesures	0.6	2 fois/semaine	Questionnaire
Micro-onde	2 ans	Mesures	0.315	Tous les jours	Questionnaire
TV	5 ans	Mesures	5.26	6h/jour et 10 h samedi et dimanche	Questionnaire
Hi-fi	14 ans	Mesures	0	0.5h/jour	Questionnaire
Ordinateur	5 ans	Mesures	8.82	14h/jour	Questionnaire
Hi-fi haut 1	6 ans	Mesures	0.28	2h/jour	Questionnaire
Hi-fi haut 2	1 an	Mesures	0.28	2h/jour	Questionnaire
Magnétoscope	5 ans	Mesures	8.56	0	Questionnaire
Aquarium		Mesures	4.62	14h/jour	Questionnaire

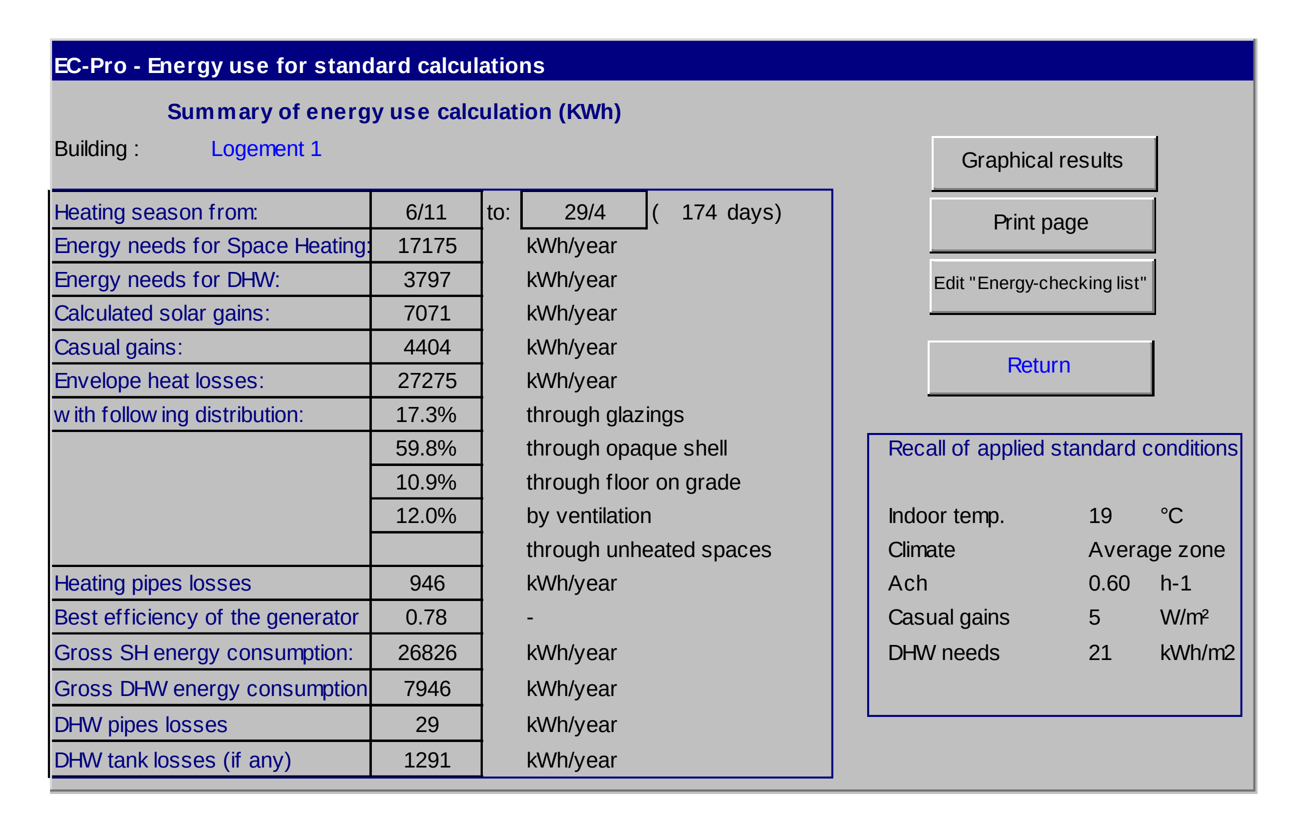
ECLAIRAGE	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de l'utilisation	Méthode
Séjour	2*60 W	Observation	5.76	6h/jour, 9h samedi et dimanche	Questionnaire
Salon	75 W, 60 W	Observation	0.945	1 h/jour	Questionnaire
S.à.m	2*100 w	Observation	0.32	Occasionnel	Questionnaire
Cuisine	36 W, 18 W	Observation	6.05	24h/24	Questionnaire
Chambre-bas	100 W	Observation	0.1	15mn/jour	Questionnaire
Sdb-bas	40 W	Observation	0.28	1 h/jour	Questionnaire
Chambre 1	60 W, 40 W	Observation	1.47	3 h/jour	Questionnaire
Chambre 2	100 W	Observation	2.1	3 h/jour	Questionnaire
Chambre 3	100 W	Observation	2.8	4 h/jour	Questionnaire
Sdb1	75 W	Observation	5.25	1 h/jour	Questionnaire
Sdb 2	60 W	Observation	4.2	1 h/jour	Questionnaire

EAU CHAUDE	Utilisation	Méthode
Toilettes	980 l/semaine	Questionnaire
Nettoyage	245 l/semaine	Questionnaire
Besoins annuels	3215 kWh	Calcul

GAINS INTERNES ET TEMPERATURE	Description	Méthode
Température intérieure	19.6°C	Mesures et calcul
Gains internes	MJ	
Janvier	1989	Calcul
Février	1755	Calcul
Mars	1879	Calcul
Avril	1757	Calcul
Mai	1769	Calcul
Juin	1695	Calcul
Juillet	1769	Calcul
Août	1815	Calcul
Septembre	1818	Calcul
Octobre	1943	Calcul
Novembre	1925	Calcul
Décembre	2006	Calcul

Résultats du calcul

Consommation standard



EC-Pro - Energy use for standard calculations

Summary of energy use calculation (KWh)

Building : Logement 1

Heating season from:	6/11	to:	29/4	(174 days)
Energy needs for Space Heating:	17175	kWh/year		
Energy needs for DHW:	3797	kWh/year		
Calculated solar gains:	7071	kWh/year		
Casual gains:	4404	kWh/year		
Envelope heat losses:	27275	kWh/year		
w ith follow ing distribution:	17.3%	through glazings		
	59.8%	through opaque shell		
	10.9%	through floor on grade		
	12.0%	by ventilation		
		through unheated spaces		
Heating pipes losses	946	kWh/year		
Best efficiency of the generator	0.78	-		
Gross SH energy consumption:	26826	kWh/year		
Gross DHW energy consumption	7946	kWh/year		
DHW pipes losses	29	kWh/year		
DHW tank losses (if any)	1291	kWh/year		

Graphical results

Print page

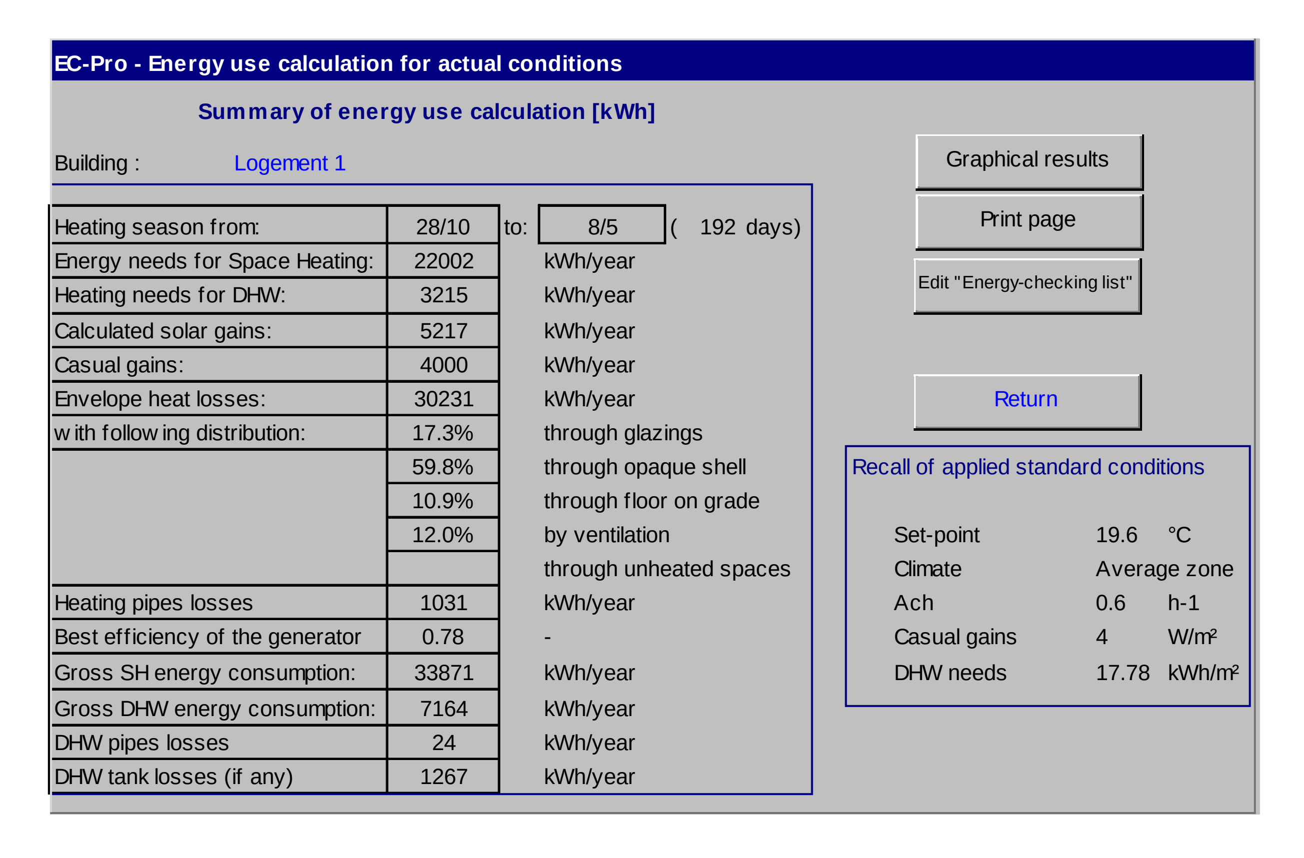
Edit "Energy-checking list"

Return

Recall of applied standard conditions

Indoor temp.	19	°C
Climate	Average zone	
Ach	0.60	h-1
Casual gains	5	W/m²
DHW needs	21	kWh/m2

Consommation réelle



EC-Pro - Energy use calculation for actual conditions

Summary of energy use calculation [kWh]

Building : Logement 1

Heating season from:	28/10	to:	8/5	(192 days)
Energy needs for Space Heating:	22002	kWh/year		
Heating needs for DHW:	3215	kWh/year		
Calculated solar gains:	5217	kWh/year		
Casual gains:	4000	kWh/year		
Envelope heat losses:	30231	kWh/year		
w ith follow ing distribution:	17.3%	through glazings		
	59.8%	through opaque shell		
	10.9%	through floor on grade		
	12.0%	by ventilation		
		through unheated spaces		
Heating pipes losses	1031	kWh/year		
Best efficiency of the generator	0.78	-		
Gross SH energy consumption:	33871	kWh/year		
Gross DHW energy consumption:	7164	kWh/year		
DHW pipes losses	24	kWh/year		
DHW tank losses (if any)	1267	kWh/year		

Graphical results

Print page

Edit "Energy-checking list"

Return

Recall of applied standard conditions

Set-point	19.6	°C
Climate	Average zone	
Ach	0.6	h-1
Casual gains	4	W/m²
DHW needs	17.78	kWh/m²

Logement 2

Données du calcul

ENVELOPPE	Description	Méthode	U-value (W/m²K)	Surface (m²)	Autres données
Murs extérieurs	Blocs creux 20cm +3cm ciment	Observation et information donnée par les occupants	2.52	107.1	ρce=0.24
Murs intérieurs	Blocs creux de 10cm +3cm ciment	Observation et information donnée par les occupants	3.27	73	ρce=0.14
Vitrage	Vitrage simple 4 mm – cadre aluminium	Observation et information donnée par les occupants		NE :9.24 NO : 0.4 SO :6.6	gvalue=0.85 frame factor=0.8
Plancher	Sur terre pleine – non isolé	information donnée par les occupants		91.2	Béton +terrazo
Partition avec le Hall d'entrée	Mur :blocs creux 20cm +3cm ciment	information donnée par les occupants	2.52	16.24	ρce=0.24
Partition avec la cave	Plancher : béton +terrazo			4.28	
Ventilation	0.6 h^{-1}	observation			Vol = 276.95 m^3

SYSTEMES	Description	Méthode	Puissance	Efficacité	Autres données
Chauffage	Chaudière à mazout	Observation	15 kW	0.8	Chaudière placée dans la cave L=10 m
Eau chaude sanitaire	Chaudière à mazout	Observation	35 kW	0.8	Ballon placé à l'intérieur
Tuyaux d'eau chaude	à l'intérieur de la maison	Observation et information donnée par les occupants			Longueur= 15 m Vol=250l

APPAREILS	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de l'utilisation	Méthode
Réfrigérateur +congélateur	Combiné, 150 l, 'Kelvinator', 6ans	Mesures	7	24h/24	
Lave-linge	Charge frontale, 'Gala'	Mesures	7.78	1 fois/jour (40° et 90°)	Questionnaire
Lave-vaisselle	'Ariston', 1 an	Mesures	6.4	4 fois/semaine	Questionnaire
Machine à café		Mesures	0.27	Tous les jours	Questionnaire
Micro-onde	'Microchef'	Mesures	0.55	Tous les jours	Questionnaire
TV	'Aiwa', 74 W	Mesures	5.04	9 h/jour	Questionnaire
Hi-fi	'Aiwa', 14 W	Mesures	1.0	0.5h/jour	Questionnaire
Ordinateur	171.6W (max)	Mesures	4.16	4 h/jour	Questionnaire
Magnétoscope		Mesures	0.9	3 h/jour	Questionnaire

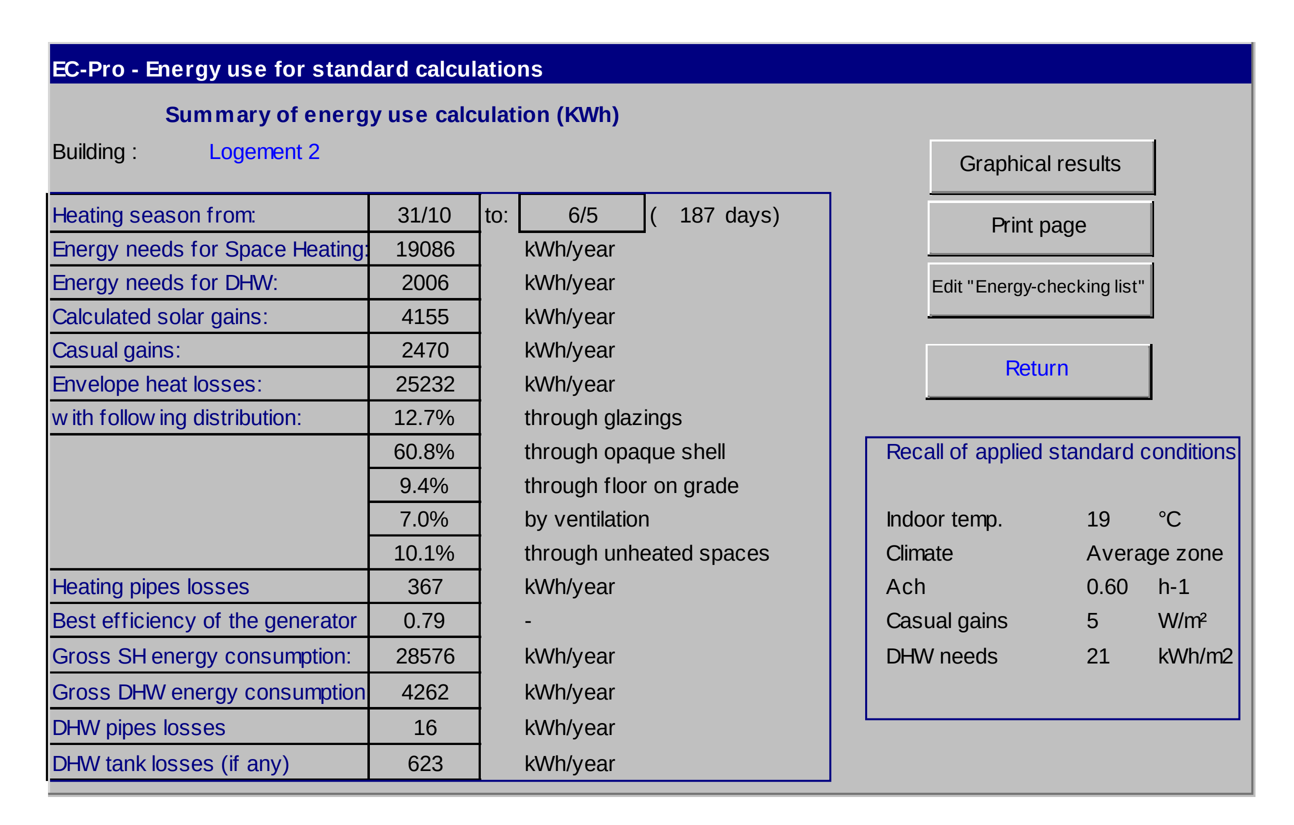
ECLAIRAGE	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de l'utilisation	Méthode
Salon	100 W	Observation	5.25	7.5 h/jour	Questionnaire
S.à.m	100 w	Observation	1.4	2 h/jour	Questionnaire
Cuisine	75 W, 29 W	Observation	5.07	8.5 h/jour	Questionnaire
Chambre 1	100 W, 40 W	Observation	1.32	2 h/jour	Questionnaire
Chambre 2	100 W, 40 W	Observation	3.4	6 h/jour	Questionnaire
Couloir	5 W	Observation	0.42	12 h/jour	Questionnaire
Sdb1	40 W	Observation	0.7	2.5 h/jour	Questionnaire
Sdb 2	40 W	Observation	0.09	0.25 h/jour	Questionnaire

EAU CHAUDE	Utilisation	Méthode
Toilettes	780 l/semaine	Questionnaire
Nettoyage	70 l/semaine	Questionnaire
Autres	5 l/semaine	Questionnaire
Besoins annuels	3680 kWh	Calcul

GAINS INTERNES ET TEMPERATURE	Description	Méthode
Température intérieure	19.1°C	Mesures et calcul
Gains internes	MJ	
Janvier	1721	Calcul
Février	1456	Calcul
Mars	1464	Calcul
Avril	1272	Calcul
Mai	1206	Calcul
Juin	1128	Calcul
Juillet	0	Calcul
Août	0	Calcul
Septembre	1416	Calcul
Octobre	1612	Calcul
Novembre	1666	Calcul
Décembre	1761	Calcul

Résultats du calcul

Consommation standard



EC-Pro - Energy use for standard calculations

Summary of energy use calculation (KWh)

Building : Logement 2

Heating season from:	31/10	to: 6/5	(187 days)
Energy needs for Space Heating:	19086		kWh/year
Energy needs for DHW:	2006		kWh/year
Calculated solar gains:	4155		kWh/year
Casual gains:	2470		kWh/year
Envelope heat losses:	25232		kWh/year
w ith follow ing distribution:	12.7%		through glazings
	60.8%		through opaque shell
	9.4%		through floor on grade
	7.0%		by ventilation
	10.1%		through unheated spaces
Heating pipes losses	367		kWh/year
Best efficiency of the generator	0.79		-
Gross SH energy consumption:	28576		kWh/year
Gross DHW energy consumption	4262		kWh/year
DHW pipes losses	16		kWh/year
DHW tank losses (if any)	623		kWh/year

Graphical results

Print page

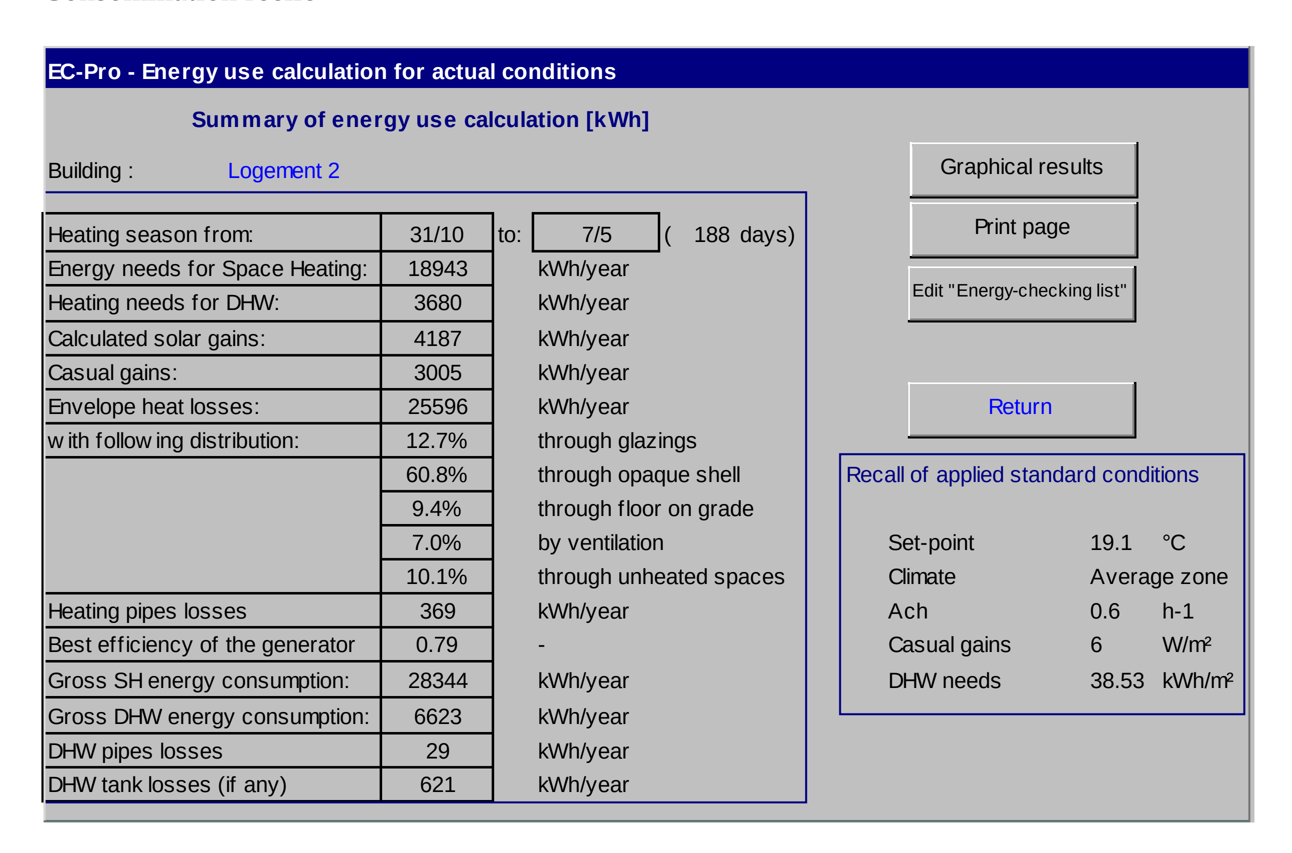
Edit "Energy-checking list"

Return

Recall of applied standard conditions

Indoor temp.	19	°C
Climate	Average zone	
Ach	0.60	h-1
Casual gains	5	W/m²
DHW needs	21	kWh/m2

Consommation réelle



EC-Pro - Energy use calculation for actual conditions

Summary of energy use calculation [kWh]

Building : Logement 2

Heating season from:	31/10	to: 7/5	(188 days)
Energy needs for Space Heating:	18943		kWh/year
Heating needs for DHW:	3680		kWh/year
Calculated solar gains:	4187		kWh/year
Casual gains:	3005		kWh/year
Envelope heat losses:	25596		kWh/year
w ith follow ing distribution:	12.7%		through glazings
	60.8%		through opaque shell
	9.4%		through floor on grade
	7.0%		by ventilation
	10.1%		through unheated spaces
Heating pipes losses	369		kWh/year
Best efficiency of the generator	0.79		-
Gross SH energy consumption:	28344		kWh/year
Gross DHW energy consumption:	6623		kWh/year
DHW pipes losses	29		kWh/year
DHW tank losses (if any)	621		kWh/year

Graphical results

Print page

Edit "Energy-checking list"

Return

Recall of applied standard conditions

Set-point	19.1	°C
Climate	Average zone	
Ach	0.6	h-1
Casual gains	6	W/m²
DHW needs	38.53	kWh/m²

Logement 3

Données du calcul

ENVELOPPE	Description	Méthode	U-value (W/m²K)	Surface (m²)	Autres données
Murs extérieurs	Blocs creux 20cm +3cm ciment	Observation et information donnée par les occupants	2.52	120.24	ρce=0.24
Murs intérieurs	Blocs creux de 10cm +3cm ciment	Observation et information donnée par les occupants	3.27	186.78	ρce=0.14
Vitrage	Vitrage simple 4 mm, cadre bois, volets bois	Observation et information donnée par les occupants		NE :7.61 SE : 16.3 SO: 18.4	gvalue=0. frame factor=0.45
Partition avec l'escalier	Mur :blocs creux 20cm +3cm ciment	Observation	2.52	15.84	ρce=0.24
Partition avec l'ouverture WC	Mur :blocs creux 20cm +3cm ciment	Observation	2.52	7.92	ρce=0.24
Ventilation	0.6 h^{-1}	observation			Vol = 545.1 m^3

SYSTEMES	Description	Méthode	Puissance	Efficacité	Autres données
Chauffage	Radiateur mobile à gaz	Observation et information donnée par les occupants	4 kW	0.68	20 kg/mois
Eau chaude sanitaire	Chaudière à mazout	Observation	2 kW	1	Ballon placé à l'intérieur vol=150 l
Tuyaux d'eau chaude	à l'intérieur de la maison	Observation et information donnée par les occupants			Longueur= 15 m Isolation =30 mm

APPAREILS	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de utilisation	Méthode
Réfrigérateur	200 l, combiné, ‘Frigidaire’	Mesures	5.6	24h/24	
Lave-linge	Charge frontale, ‘white estinghouse’	Mesures	7.56	Tous les jours 0° et 90°)	Questionnaire
Congélateur	‘Lifbherr’	Mesures	7	24h/24	Questionnaire
Micro-onde		Mesures	0.42	Tous les jours	Questionnaire
Aspirateur	Traîneau	Mesures calcul	0.21	3 fois/semaine	Questionnaire
Sèche-cheveux		Mesures+calcul	0.6	3 fois/semaine	
Fer à repasser		Mesures+calcul	2.1	Tous les jours	
TV		Mesures	2.88	6h/jour, 8h medi et 10 h manche+ h/jour en veille	Questionnaire
Hi-fi (salon)		Mesures	0.24	2hsem	Questionnaire
Hi-fi (ch2)		Mesures	0.04	2h/semaine	
Hi-fi (ch1)		Mesures	1.4	10h/jour	
Ordinateur		Mesures	0.63	3 h/jour	Questionnaire
Magnétoscope		Mesures	1.29	2 h/semaine /jour en veille	Questionnaire

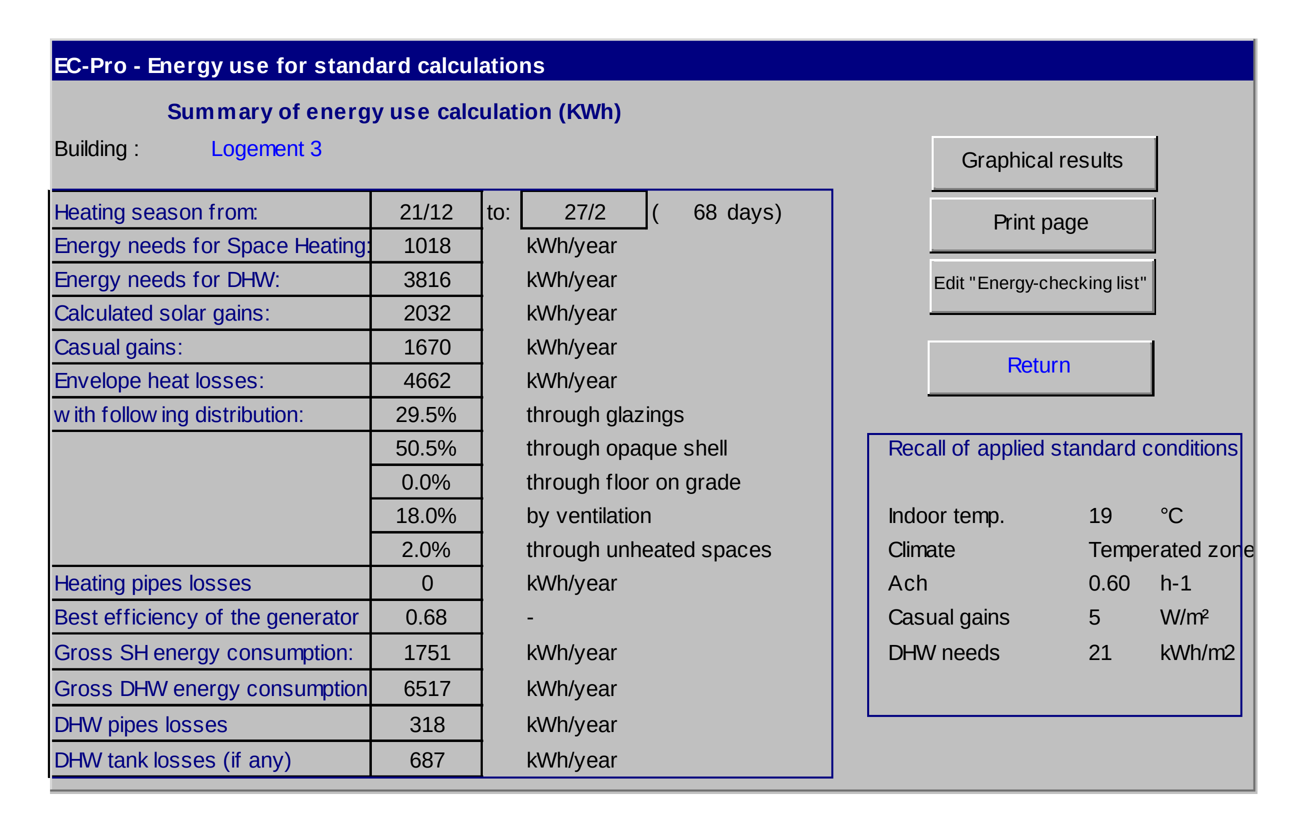
ECLAIRAGE	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de l’utilisation	Méthode
Séjour	200 W	Observation	11.2	8 h/jour	Questionnaire
Salon	720 W+480W	Observation	0.43	Occasionnelle	Questionnaire
S.à.m	480 W	Observation	0.28	Occasionnelle	Questionnaire
Cuisine	200 W	Observation	4.2	3 h/jour	Questionnaire
Chambre 1	120 W	Observation	0.84	1 h/jour	Questionnaire
Chambre 2	100 W	Observation	0.7	3 h/jour	Questionnaire
Chambre 3	2*100 W	Observation	2.73	3 h/jour	Questionnaire
Couloir	200 W	Observation	6.72	4 h/jour	Questionnaire
Couloir chambre	150 W+100W	Observation	10.5	6 h/jour	Questionnaire
Sdb1	120 W+100W	Observation	21.84	24 h/jour	Questionnaire
Sdb 2	60 W	Observation	0.035	Occasionnelle	Questionnaire

EAU CHAUDE	Utilisation	Méthode
Toilettes	665 l/semaine	Questionnaire
Besoins annuels	2800 kWh	Calcul

GAINS INTERNES ET TEMPERATURE	Description	Méthode
Température intérieure	18.9°C	Mesures et calcul
Gains internes	MJ	
Janvier	2554	Calcul
Février	2182	Calcul
Mars	2226	Calcul
Avril	1970	Calcul
Mai	1897	Calcul
Juin	1787	Calcul
Juillet	0	Calcul
Août	0	Calcul
Septembre	2154	Calcul
Octobre	2415	Calcul
Novembre	2472	Calcul
Décembre	2605	Calcul

Résultats du calcul

Consommation standard



EC-Pro - Energy use for standard calculations

Summary of energy use calculation (KWh)

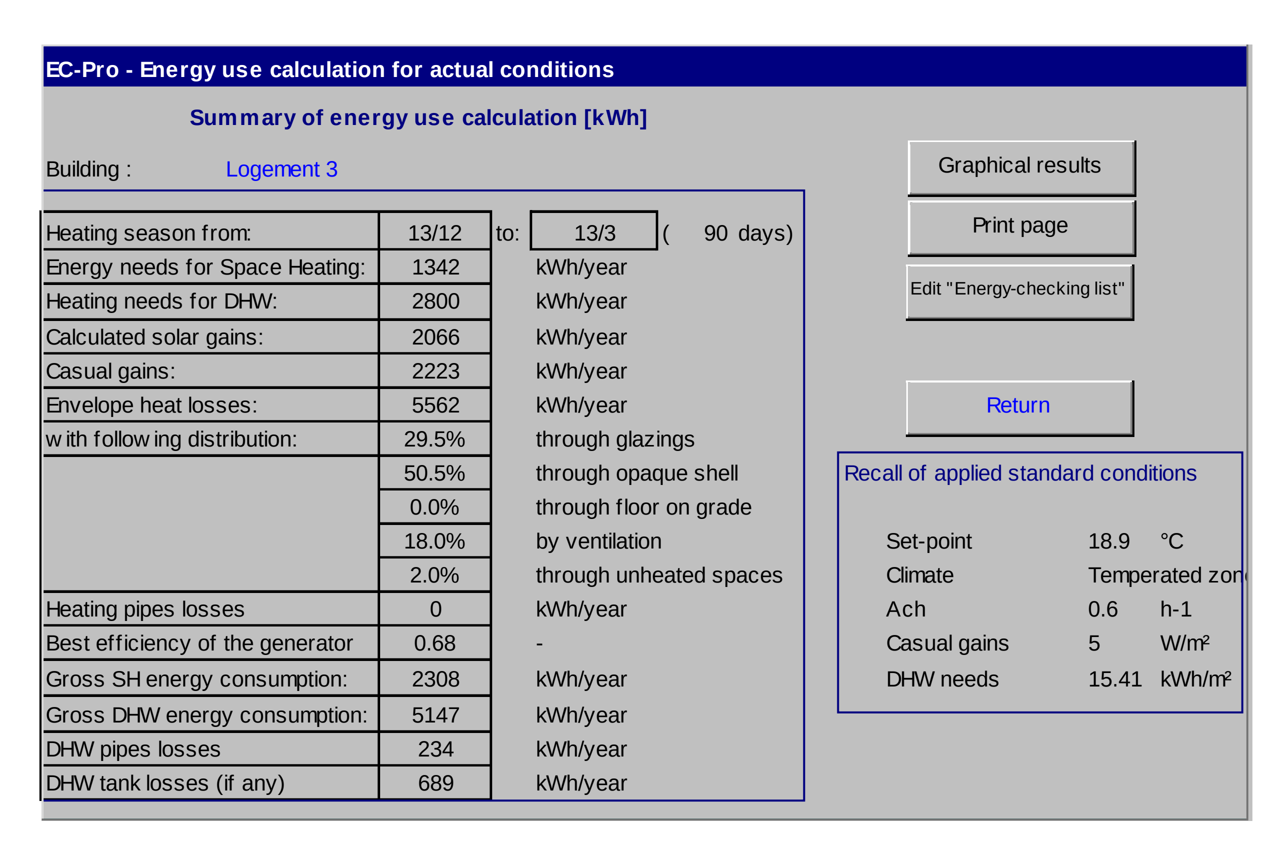
Building : Logement 3

Heating season from:	21/12	to:	27/2	(68 days)
Energy needs for Space Heating:	1018		kWh/year	
Energy needs for DHW:	3816		kWh/year	
Calculated solar gains:	2032		kWh/year	
Casual gains:	1670		kWh/year	
Envelope heat losses:	4662		kWh/year	
w ith follow ing distribution:	29.5%		through glazings	
	50.5%		through opaque shell	
	0.0%		through floor on grade	
	18.0%		by ventilation	
	2.0%		through unheated spaces	
Heating pipes losses	0		kWh/year	
Best efficiency of the generator	0.68		-	
Gross SH energy consumption:	1751		kWh/year	
Gross DHW energy consumption	6517		kWh/year	
DHW pipes losses	318		kWh/year	
DHW tank losses (if any)	687		kWh/year	

Recall of applied standard conditions

Indoor temp.	19	°C
Climate	Temperated zone	
Ach	0.60	h-1
Casual gains	5	W/m²
DHW needs	21	kWh/m2

Consommation réelle



EC-Pro - Energy use calculation for actual conditions

Summary of energy use calculation [kWh]

Building : Logement 3

Heating season from:	13/12	to:	13/3	(90 days)
Energy needs for Space Heating:	1342		kWh/year	
Heating needs for DHW:	2800		kWh/year	
Calculated solar gains:	2066		kWh/year	
Casual gains:	2223		kWh/year	
Envelope heat losses:	5562		kWh/year	
w ith follow ing distribution:	29.5%		through glazings	
	50.5%		through opaque shell	
	0.0%		through floor on grade	
	18.0%		by ventilation	
	2.0%		through unheated spaces	
Heating pipes losses	0		kWh/year	
Best efficiency of the generator	0.68		-	
Gross SH energy consumption:	2308		kWh/year	
Gross DHW energy consumption:	5147		kWh/year	
DHW pipes losses	234		kWh/year	
DHW tank losses (if any)	689		kWh/year	

Recall of applied standard conditions

Set-point	18.9	°C
Climate	Temperated zon	
Ach	0.6	h-1
Casual gains	5	W/m²
DHW needs	15.41	kWh/m²

Logement 4

Données du calcul

ENVELOPPE	Description	Méthode	U-value (W/m²K)	Surface (m²)	Autres données
Murs extérieurs	Blocs creux 20cm +3cm ciment	Observation et information donnée par les occupants	2.52	79.2	ρce=0.24
Murs intérieurs	Blocs creux de 10cm +3cm ciment	Observation et information donnée par les occupants	3.27	136.8	ρce=0.14
Vitrage	Vitrage simple 4 mm, cadre bois, volets bois	Observation et information donnée par les occupants		NO:10.08 SE :10.08	gvalue=0. frame factor=0.5
Partition avec l'escalier	Mur :blocs creux 20cm +3cm ciment	Observation	2.52	17.25	ρce=0.24
Partition avec l'ouverture WC	Mur :blocs creux 20cm +3cm ciment	Observation	2.52	4.17	ρce=0.24
Ventilation	0.6 h^{-1}	observation			Vol = 371.1 m^3

SYSTEMES	Description	Méthode	Puissance	Efficacité	Autres données
Chauffage	Radiateur mobile à gaz	Observation et information donnée par les occupants	4 kW	0.68	20 kg/mois
Eau chaude sanitaire	Chaudière à mazout	Observation	2 kW	1	Ballon placé à l'intérieur-150 l –âge 7ans
Tuyaux d'eau chaude	à l'intérieur de la maison	Observation et information donnée par les occupants			Longueur=15 m Vol=150l

APPAREILS	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de l'utilisation	Méthode
Réfrigérateur +congélateur	300 l, combiné, 4 ans	Mesures	18.2	24h/24	Questionnaire
Lave-linge	Charge dessus, 4 ans	Mesures	2.16	3 fois/semaine (40° et 90°)	Questionnaire
Aspirateur	Traîneau, 15 ans, 'Hoover'	Mesures +calcul	0.2	2 fois/semaine	Questionnaire
Sèche-cheveux		Mesures+calcul	0.6	3 fois/semaine	Questionnaire
Fer à repasser		Mesures+calcul	2.1	Tous les jours	Questionnaire
TV	10 ans, 'Goldstar'	Mesures	4.55	13h/jour	Questionnaire
Hi-fi (ch1)		Mesures	0.49	5h/jour	Questionnaire
Hi-fi (ch2)		Mesures	0.17	12h/semaine	Questionnaire

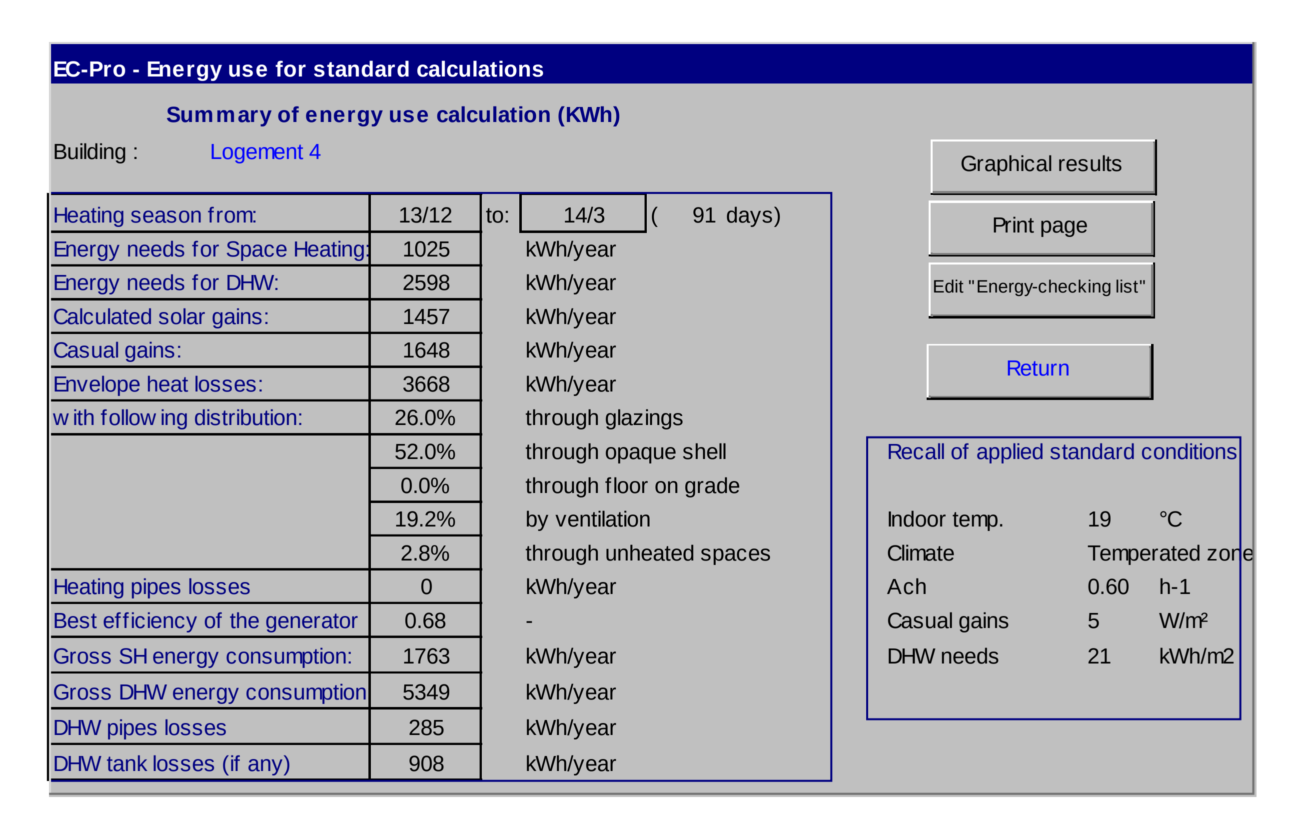
ECLAIRAGE	Description	Méthode	KWh/semaine	Description de l'utilisation	Méthode
Séjour	240W+20W	Observation	12.296	8 h/jour	Questionnaire
Salon+sàm	20W+200W	Observation	0.21	Occasionnel	Questionnaire
Cuisine	75 W	Observation	1.575	3 h/jour	Questionnaire
Chambre 1	60 W	Observation	0.42	1 h/jour	Questionnaire
Chambre 2	100 W	Observation	0.58	3 h/jour	Questionnaire
Chambre 3	60 W	Observation	0.42	3 h/jour	Questionnaire
Couloir	75 W	Observation	0.044	4 h/jour	Questionnaire
Sdb	75 W	Observation	0.525	24 h/jour	Questionnaire
Wc	75 W	Observation	0.044	Occasionnelle	Questionnaire

EAU CHAUDE	Utilisation	Méthode
Toilettes	315 l/semaine	Questionnaire
Nettoyage	140l/semaine	Questionnaire
Besoins annuels	3173 kWh	Calcul

GAINS INTERNES ET TEMPERATURE	Description	Méthode
Température intérieure	16.6°C	Mesures et calcul
Gains internes	MJ	
Janvier	1417	Calcul
Février	1247	Calcul
Mars	1331	Calcul
Avril	1240	Calcul
Mai	1245	Calcul
Juin	1192	Calcul
Juillet	0	Calcul
Août	0	Calcul
Septembre	1288	Calcul
Octobre	1381	Calcul
Novembre	1371	Calcul
Décembre	1431	Calcul

Résultats du calcul

Consommation standard

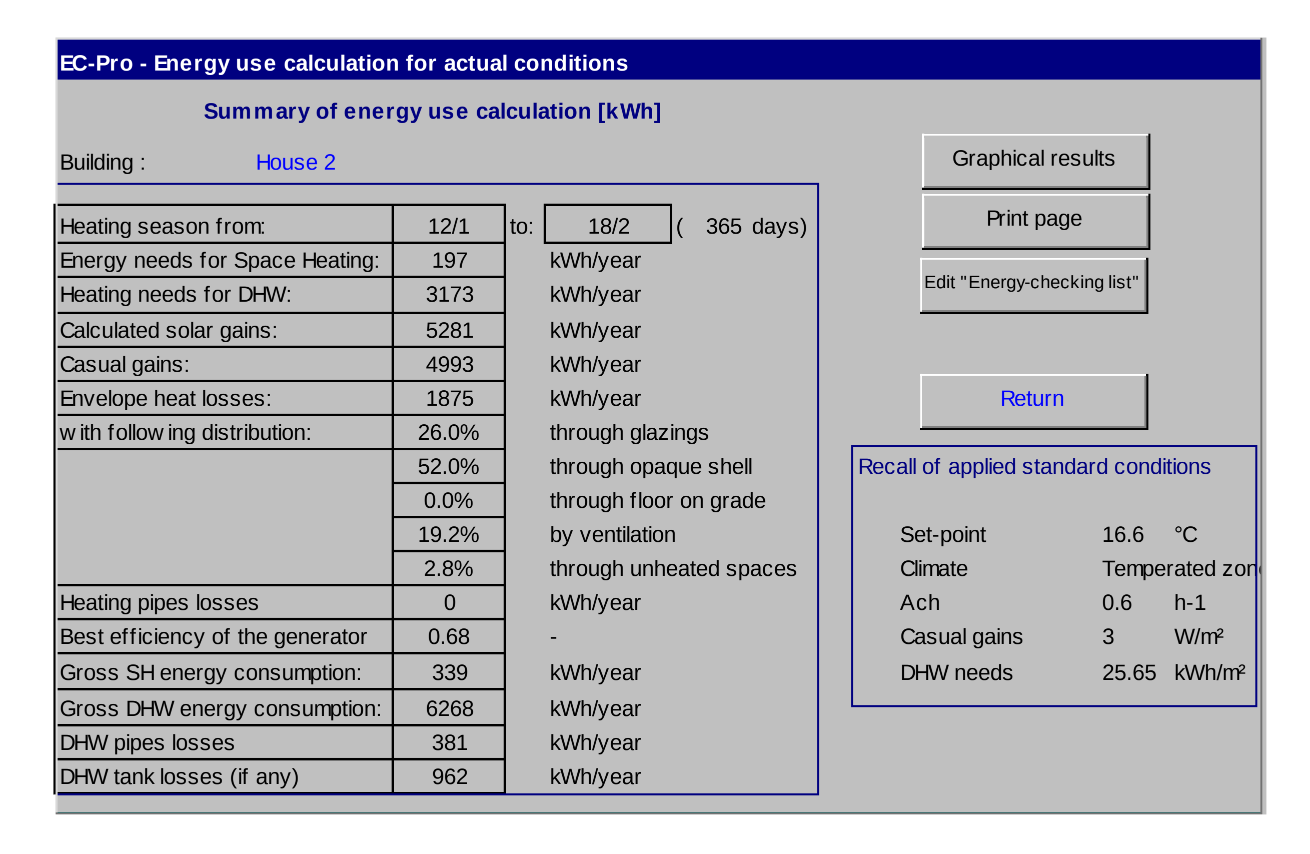


Heating season from:	13/12	to: 14/3	(91 days)
Energy needs for Space Heating:	1025		kWh/year
Energy needs for DHW:	2598		kWh/year
Calculated solar gains:	1457		kWh/year
Casual gains:	1648		kWh/year
Envelope heat losses:	3668		kWh/year
with following distribution:	26.0%		through glazings
	52.0%		through opaque shell
	0.0%		through floor on grade
	19.2%		by ventilation
	2.8%		through unheated spaces
Heating pipes losses	0		kWh/year
Best efficiency of the generator	0.68		-
Gross SH energy consumption:	1763		kWh/year
Gross DHW energy consumption	5349		kWh/year
DHW pipes losses	285		kWh/year
DHW tank losses (if any)	908		kWh/year

Recall of applied standard conditions

Indoor temp.	19	°C
Climate	Temperated zone	
Ach	0.60	h-1
Casual gains	5	W/m²
DHW needs	21	kWh/m2

Consommation réelle



Heating season from:	12/1	to: 18/2	(365 days)
Energy needs for Space Heating:	197		kWh/year
Heating needs for DHW:	3173		kWh/year
Calculated solar gains:	5281		kWh/year
Casual gains:	4993		kWh/year
Envelope heat losses:	1875		kWh/year
with following distribution:	26.0%		through glazings
	52.0%		through opaque shell
	0.0%		through floor on grade
	19.2%		by ventilation
	2.8%		through unheated spaces
Heating pipes losses	0		kWh/year
Best efficiency of the generator	0.68		-
Gross SH energy consumption:	339		kWh/year
Gross DHW energy consumption:	6268		kWh/year
DHW pipes losses	381		kWh/year
DHW tank losses (if any)	962		kWh/year

Recall of applied standard conditions

Set-point	16.6	°C
Climate	Temperated zon	
Ach	0.6	h-1
Casual gains	3	W/m²
DHW needs	25.65	kWh/m²

ANNEXE VI.b

Matrices et résultats des plans d'expériences

Les paramètres étudiés sont:

A1: température de consigne

A2: gains internes

B1: climat

B2: déperditions

C1: système de chauffage

C2: système d’eau chaude sanitaire

Nous présentons ci-après les matrices d’essais pour la consommation réelle (6 paramètres) et standard (3 paramètres) ainsi que les tableaux de résultats pour les 2 maisons étudiées (1 maison au Liban et une maison en France).

N° simulation	**A1**	**A2**	**B1**	**B2**	**C1**	**C2**	Run Label
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	(1)
2	+1	-1	-1	-1	-1	-1	A1
3	-1	+1	-1	-1	-1	-1	A2
4	+1	+1	-1	-1	-1	-1	A1A2
5	-1	-1	+1	-1	-1	-1	B1
6	+1	-1	+1	-1	-1	-1	A1B1
7	-1	+1	+1	-1	-1	-1	A2B1
8	+1	+1	+1	-1	-1	-1	A1A2B1
9	-1	-1	-1	+1	-1	-1	B2
10	+1	-1	-1	+1	-1	-1	A1B2
11	-1	+1	-1	+1	-1	-1	A2B2
12	+1	+1	-1	+1	-1	-1	A1A2B2
13	-1	-1	+1	+1	-1	-1	B1B2
14	+1	-1	+1	+1	-1	-1	A1B1B2
15	-1	+1	+1	+1	-1	-1	A2B1B2
16	+1	+1	+1	+1	-1	-1	A1A2B1B2
17	-1	-1	-1	-1	+1	-1	C1
18	+1	-1	-1	-1	+1	-1	A1C1
19	-1	+1	-1	-1	+1	-1	A2C1
20	+1	+1	-1	-1	+1	-1	A1A2C1
21	-1	-1	+1	-1	+1	-1	B1C1
22	+1	-1	+1	-1	+1	-1	A1B1C1
23	-1	+1	+1	-1	+1	-1	A2B1C1
24	+1	+1	+1	-1	+1	-1	A1A2B1C1
25	-1	-1	-1	+1	+1	-1	B2C1
26	+1	-1	-1	+1	+1	-1	A1B2C1
27	-1	+1	-1	+1	+1	-1	A2B2C1
28	+1	+1	-1	+1	+1	-1	A1A2B2C1
29	-1	-1	+1	+1	+1	-1	B1B2C1
30	+1	-1	+1	+1	+1	-1	A1B1B2C1
31	-1	+1	+1	+1	+1	-1	A2B1B2C1
32	+1	+1	+1	+1	+1	-1	A1A2B1B2C1
33	-1	-1	-1	-1	-1	+1	C2
34	+1	-1	-1	-1	-1	+1	A1C2
35	-1	+1	-1	-1	-1	+1	A2C2
36	+1	+1	-1	-1	-1	+1	A1A2C2
37	-1	-1	+1	-1	-1	+1	B1C2
38	+1	-1	+1	-1	-1	+1	A1B1C2
39	-1	+1	+1	-1	-1	+1	A2B1C2
40	+1	+1	+1	-1	-1	+1	A1A2B1C2
41	-1	-1	-1	+1	-1	+1	B2C2
42	+1	-1	-1	+1	-1	+1	A1B2C2
43	-1	+1	-1	+1	-1	+1	A2B2C2
44	+1	+1	-1	+1	-1	+1	A1A2B2C2
45	-1	-1	+1	+1	-1	+1	B1B2C2
46	+1	-1	+1	+1	-1	+1	A1B1B2C2
47	-1	+1	+1	+1	-1	+1	A2B1B2C2
48	+1	+1	+1	+1	-1	+1	A1A2B1B2C2
49	-1	-1	-1	-1	+1	+1	C1C2
50	+1	-1	-1	-1	+1	+1	A1C1C2
51	-1	+1	-1	-1	+1	+1	A2C1C2
52	+1	+1	-1	-1	+1	+1	A1A2C1C2
53	-1	-1	+1	-1	+1	+1	B1C1C2
54	+1	-1	+1	-1	+1	+1	A1B1C1C2
55	-1	+1	+1	-1	+1	+1	A2B1C1C2
56	+1	+1	+1	-1	+1	+1	A1A2B1C1C2
57	-1	-1	-1	+1	+1	+1	B2C1C2
58	+1	-1	-1	+1	+1	+1	A1B2C1C2
59	-1	+1	-1	+1	+1	+1	A2B2C1C2
60	+1	+1	-1	+1	+1	+1	A1A2B2C1C2
61	-1	-1	+1	+1	+1	+1	B1B2C1C2
62	+1	-1	+1	+1	+1	+1	A1B1B2C1C2
63	-1	+1	+1	+1	+1	+1	A2B1B2C1C2
64	+1	+1	+1	+1	+1	+1	A1A2B1B2C1C2

Tableau 1: Matrice d'essais pour le plan d'expériences à 6 paramètres

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
A1	2764.1	2532.8	2737.8	1520.4	325.3	-13.7	-14.2	-14.2	-13.7	78.2	1510.3	2868.9
A2	-112.1	-111.5	-134.6	-87.8	-23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.9	-54.9	-110.5
A1A2	-6.0	5.2	-18.6	-21.7	-23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.9	-15.0	-5.2
B1	-4932.5	-4426.3	-4139.1	-2421.7	-339.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-92.4	-2147.4	-4842.9
A1B1	-87.1	-59.2	-59.4	-1075.9	-339.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-92.4	-1217.4	1.2
A2B1	17.9	5.3	19.3	56.7	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	37.9	15.2
A1A2B1	-5.4	-5.9	-11.5	-9.3	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	-2.0	-1.8
B2	1902.0	1632.0	1291.5	593.6	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	447.6	1421.7
A1B2	362.5	327.6	369.4	227.7	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	227.8	352.9
A2B2	1.3	-4.0	-8.7	-9.9	-7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.6	-3.3	-3.9
A1A2B2	-1.6	3.4	5.1	3.7	-7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.6	-0.2	9.9
B1B2	-641.3	-548.7	-552.7	-452.8	-110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-16.4	-367.5	-588.7
A1B1B2	-11.9	-11.1	19.8	-86.9	-110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-16.4	-147.7	14.9
A2B1B2	0.9	6.8	-4.3	8.8	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	-2.7	6.9
A1A2B1B2	10.8	15.0	-3.0	-4.9	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	-5.8	6.3
C1	-832.8	-749.4	-586.4	-251.4	-47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-30.1	-226.5	-695.7
A1C1	-173.1	-166.9	-150.0	-112.7	-47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-30.1	-114.8	-172.4
A2C1	10.7	9.3	18.8	8.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	3.3	7.0
A1A2C1	-2.5	-0.7	1.5	5.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	-1.3	-8.6
B1C1	267.6	243.9	250.0	173.2	47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	161.1	299.0
A1B1C1	19.2	13.3	-9.0	34.5	47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	49.4	2.2
A2B1C1	-3.1	-9.1	-8.5	-5.3	-1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.3	-8.6
A1A2B1C1	-9.3	-12.2	-3.5	-2.3	-1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.2	-0.7
B2C1	-112.4	-94.5	-69.2	-29.8	-7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.5	-30.7	-88.3
A1B2C1	-25.2	-23.5	-7.6	-8.4	-7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.5	-15.1	-17.0
A2B2C1	-4.3	-12.3	-1.4	-4.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-3.0	-7.1
A1A2B2C1	-7.5	-9.1	2.9	-2.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.7	-1.6
B1B2C1	50.1	39.8	29.1	20.3	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	27.0	34.7
A1B1B2C1	25.1	15.7	-9.9	-1.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	11.4	-6.4
A2B1B2C1	2.1	-1.1	3.6	3.6	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.4	0.3
A1A2B1B2C1	-1.8	2.0	-4.6	0.9	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.1	-9.4
C2	44.1	46.2	46.1	42.5	43.2	42.4	43.8	43.8	42.4	41.5	41.0	47.4
A1C2	-2.1	2.5	-2.6	5.9	4.2	4.7	4.8	4.8	4.7	2.5	-0.7	7.0
A2C2	11.3	10.9	11.1	6.3	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	10.2	10.5
A1A2C2	1.4	0.1	2.4	1.5	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	-1.6	1.8
B1C2	0.1	0.8	6.3	-1.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	-1.7	-3.3
A1B1C2	1.0	-0.2	5.4	-2.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	4.1
A2B1C2	-7.1	-0.1	-2.5	-4.2	-3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-9.4	-1.8
A1A2B1C2	-4.9	0.1	0.8	0.6	-3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	2.4	1.8
B2C2	1.0	-0.3	1.4	2.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.5	0.0
A1B2C2	-0.5	0.1	-3.2	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	-5.0	-0.4
A2B2C2	-5.0	-0.1	8.2	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	4.7	0.9
A1A2B2C2	-6.9	0.0	2.7	-1.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	-1.8	-1.0
B1B2C2	-5.1	-0.2	3.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.3	-2.9	0.3
A1B1B2C2	-6.9	0.0	-1.7	2.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.3	4.6	-0.4
A2B1B2C2	1.3	0.0	-2.6	-1.2	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	-8.5	1.0
A1A2B1B2C2	-5.1	-0.2	3.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.3	-2.9	0.3
C1C2	-4.2	-2.6	-8.9	-4.9	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6	0.7	-0.5
A1C1C2	0.4	-0.2	-5.1	-0.7	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6	1.6	-2.8
A2C1C2	4.3	-0.6	-0.3	1.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-4.3	-1.5
A1A2C1C2	6.8	0.0	1.1	-2.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.2	0.8
B1C1C2	4.9	-0.1	5.0	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	-1.3	2.6
A1B1C1C2	6.9	0.0	5.9	-3.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	-2.2	-2.6
A2B1C1C2	-1.3	0.0	-1.1	-2.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.4	-0.8
A1A2B1C1C2	0.6	-0.1	-0.4	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.8
B2C1C2	6.9	0.0	-0.3	-1.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.7	0.8	-0.6
A1B2C1C2	5.0	0.0	-1.1	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.7	1.2	0.6
A2B2C1C2	0.6	0.0	5.9	0.5	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-2.8	-1.0
A1A2B2C1C2	-1.3	0.0	5.1	0.4	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	0.7	0.9
B1B2C1C2	0.7	0.0	1.2	-0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-2.9	-0.5
A1B1B2C1C2	-1.2	0.1	0.3	-1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-3.4	0.5
A2B1B2C1C2	6.9	0.0	-5.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	5.2	-0.9
A1A2B1B2C1C2	5.0	0.0	-5.9	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.7	0.9

Tableau 2: Résultats pour la maison au Liban

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
A1	1192.3	1084.5	1174.8	1060.7	837.2	-7.5	-7.8	-7.8	524.6	1129.6	1142.9	1184.7
A2	-126.2	-112.3	-100.8	-73.9	-39.5	0.0	0.0	0.0	-27.2	-96.8	-125.3	-139.0
A1A2	7.2	4.9	-6.5	-4.8	-17.1	0.0	0.0	0.0	-21.7	-7.6	1.4	-6.2
B1	89.4	-161.0	-1831.2	-537.6	-332.6	0.0	0.0	0.0	-292.0	-281.6	-382.1	-530.2
A1B1	-8.1	13.0	-5.2	-41.3	-71.6	0.0	0.0	0.0	-239.7	-15.2	-13.3	-6.8
A2B1	0.5	4.8	2.5	5.2	6.7	0.0	0.0	0.0	9.3	0.6	1.8	1.4
A1A2B1	-5.0	-3.1	3.5	3.4	-6.7	0.0	0.0	0.0	5.0	2.6	-12.4	-8.1
B2	1365.4	1151.6	1085.3	671.5	322.9	0.0	0.0	0.0	159.3	613.5	1010.7	1342.3
A1B2	111.5	122.6	116.0	125.6	128.4	0.0	0.0	0.0	131.3	125.9	110.1	120.1
A2B2	3.9	1.5	-1.8	-6.8	5.9	0.0	0.0	0.0	-1.0	2.1	-4.2	-10.4
A1A2B2	-2.3	-1.8	-3.9	2.2	5.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	-2.2	5.7
B1B2	12.8	-3.9	-149.7	-41.8	-69.0	0.0	0.0	0.0	-38.1	-17.2	-30.5	-33.5
A1B1B2	-2.5	-9.5	16.6	0.5	39.3	0.0	0.0	0.0	-16.6	2.7	-1.7	-7.0
A2B1B2	4.8	-7.1	1.0	7.7	1.3	0.0	0.0	0.0	3.9	-3.4	11.3	-3.0
A1A2B1B2	-0.1	-8.8	0.1	6.3	6.6	0.0	0.0	0.0	0.8	1.2	7.4	9.2
C1	-808.8	-637.8	-578.0	-332.1	-168.7	-94.8	-98.0	-98.0	-132.3	-328.6	-571.1	-785.0
A1C1	-69.0	-63.3	-64.4	-62.0	-47.6	-7.8	-8.0	-8.0	-26.9	-66.0	-67.6	-76.7
A2C1	5.4	8.2	11.1	4.7	0.6	0.0	0.0	0.0	6.4	5.3	4.4	9.3
A1A2C1	3.2	2.6	2.8	1.5	2.8	0.0	0.0	0.0	-0.1	2.1	1.4	-6.4
B1C1	1.7	6.4	106.3	33.1	19.3	0.0	0.0	0.0	17.8	13.8	21.6	22.9
A1B1C1	1.9	-2.5	-4.1	3.9	8.2	0.0	0.0	0.0	12.2	2.8	-0.2	-3.6
A2B1C1	-5.4	-3.7	-3.4	-1.5	2.8	0.0	0.0	0.0	-2.9	-0.9	-2.9	2.4
A1A2B1C1	0.7	-2.0	1.9	3.2	-1.8	0.0	0.0	0.0	-3.4	3.1	-4.8	3.8
B2C1	-88.7	-62.0	-60.0	-36.9	-17.0	0.0	0.0	0.0	-10.8	-32.7	-57.6	-68.5
A1B2C1	13.9	-1.7	-0.5	-10.3	-7.8	0.0	0.0	0.0	-5.7	-4.6	-0.8	-15.0
A2B2C1	-17.1	-1.3	-4.2	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	-4.0	-3.6	-2.1	-0.6
A1A2B2C1	-11.3	6.8	-3.2	-1.8	1.7	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.9	-5.9	6.6
B1B2C1	11.2	3.5	3.4	5.0	2.8	0.0	0.0	0.0	1.8	2.2	-3.9	-19.2
A1B1B2C1	6.6	11.9	-5.8	1.7	-0.9	0.0	0.0	0.0	2.4	-3.8	-2.8	-19.1
A2B1B2C1	-0.8	-5.8	-4.8	-4.4	-4.1	0.0	0.0	0.0	0.7	-1.1	-3.2	-2.0
A1A2B1B2C1	5.3	2.1	6.0	0.4	-1.9	0.0	0.0	0.0	-2.9	-1.1	0.7	-3.7
C2	96.7	89.3	101.3	95.3	103.2	85.6	88.5	88.5	90.9	94.2	94.6	101.7
A1C2	-6.5	-3.6	4.0	1.7	4.8	-3.0	-3.1	-3.1	2.1	4.5	2.4	1.2
A2C2	1.5	-1.0	10.3	-2.1	1.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.4	7.4	7.1
A1A2C2	-5.9	7.0	-9.1	1.7	-1.9	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.1	-6.6	-0.9
B1C2	-6.1	-5.9	6.0	-1.3	-2.7	0.0	0.0	0.0	2.0	4.1	-5.1	3.8
A1B1C2	1.4	2.1	-2.7	-4.8	5.6	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	5.9	2.7
A2B1C2	-5.7	-5.8	-6.2	-1.1	-1.3	0.0	0.0	0.0	-4.3	1.9	-2.5	-2.1
A1A2B1C2	-13.2	2.2	-1.0	-1.0	-1.7	0.0	0.0	0.0	-0.5	1.7	-8.6	-4.1
B2C2	-9.5	0.1	3.4	2.4	-1.0	0.0	0.0	0.0	-5.2	-3.5	-1.6	5.8
A1B2C2	-1.0	3.0	2.4	2.2	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.8	-3.6	-1.3	-0.7
A2B2C2	6.1	1.0	-2.2	-1.5	1.1	0.0	0.0	0.0	1.6	-2.0	-2.3	-8.3
A1A2B2C2	-1.4	2.6	1.0	3.6	5.3	0.0	0.0	0.0	-0.6	-1.9	-6.6	2.1
B1B2C2	-1.4	5.8	-3.1	-0.8	-1.7	0.0	0.0	0.0	1.2	-1.7	-7.8	-2.1
A1B1B2C2	6.1	7.5	1.9	-3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	4.5	-0.8	-1.1	-4.1
A2B1B2C2	-1.0	-3.8	5.8	1.7	-5.3	0.0	0.0	0.0	-2.2	-1.8	5.4	3.3
A1A2B1B2C2	-1.4	5.8	-3.1	-0.8	-1.7	0.0	0.0	0.0	1.2	-1.7	-7.8	-2.1
C1C2	1.3	-6.8	-8.6	-4.6	-7.2	-16.3	-16.9	-16.9	-6.4	-4.5	1.4	-3.0
A1C1C2	1.7	-2.6	-5.3	2.5	0.7	8.5	8.7	8.7	3.4	2.4	2.3	2.7
A2C1C2	-5.5	-1.1	-1.2	-6.9	-2.5	0.0	0.0	0.0	-2.8	7.7	-5.5	-3.4
A1A2C1C2	0.8	-2.8	2.4	-7.0	-3.5	0.0	0.0	0.0	0.9	8.0	5.9	-2.8
B1C1C2	0.8	3.7	5.5	-2.7	3.3	0.0	0.0	0.0	-1.9	1.2	-0.9	1.3
A1B1C1C2	-5.4	2.1	-4.5	6.0	2.9	0.0	0.0	0.0	-2.3	1.1	1.3	-7.6
A2B1C1C2	1.6	-5.9	-8.7	1.1	-1.3	0.0	0.0	0.0	-0.4	-6.7	3.2	-1.5
A1A2B1C1C2	7.9	-7.6	1.5	-3.6	3.8	0.0	0.0	0.0	2.8	-2.4	6.7	7.7
B2C1C2	12.5	1.2	1.5	0.3	-2.8	0.0	0.0	0.0	2.9	3.1	-1.5	-3.2
A1B2C1C2	6.5	-6.9	5.9	-3.5	0.2	0.0	0.0	0.0	-1.5	-5.1	2.2	-2.8
A2B2C1C2	-0.9	10.7	1.6	1.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.6	3.0	9.6	3.5
A1A2B2C1C2	5.3	2.8	-2.8	0.9	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.5	7.3	0.2	2.7
B1B2C1C2	5.5	5.9	2.3	-1.6	-1.5	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	6.9	-1.6

Tableau 3: Résultats pour la maison en France

N° simulation	**B2**	**C1**	**C2**	Symbole
1	-1	-1	-1	(1)
2	+1	-1	-1	B1
3	-1	+1	-1	C1
4	+1	+1	-1	B1C1
5	-1	-1	+1	C2
6	+1	-1	+1	B1C2
7	-1	+1	+1	C1C2
8	+1	+1	+1	B1C1C2

Tableau 4: Matrice d'essais pour le plan d'expériences à 3 paramètres

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
B2	1138.1	930.8	663.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	771.8
C1	-489.0	-389.6	-245.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-291.0
B2C1	-58.2	-48.4	-39.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-53.5
C2	2.3	1.0	12.5	-28.4	-29.3	-28.4	-29.3	-105.5	-28.4	-29.3	-28.4	-3.8
B2C2	0.3	0.4	22.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
C1C2	-0.1	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
B2C1C2	0.0	-0.1	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1

Tableau 5: Résultats pour la maison au Liban

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
B1	1298.7	1131.3	1182.8	666.9	285.7	0.0	0.0	0.0	163.5	577.9	983.7	1349.7
C1	-790.4	-669.3	-666.1	-334.3	-177.1	-97.5	-100.7	-100.7	-128.0	-330.0	-585.3	-824.6
B1C1	-28.5	-97.7	-60.1	-28.6	-20.9	0.0	0.0	0.0	-19.1	-23.9	-50.2	-116.8
C2	4.1	3.7	4.1	-5.0	1.4	-5.9	-6.1	-6.1	-7.1	4.2	4.0	4.1
B1C2	0.0	-0.1	0.0	-8.8	0.3	0.0	0.0	0.0	3.5	-0.1	-0.1	0.0
C1C2	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	-0.1	-14.3	-14.8	-14.8	-6.4	-0.2	-0.2	-0.3
B1C1C2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0

Tableau 6: Résultats pour la maison en France